

# LÁMPSAKOS

No. 12

**Presentación**  
Presentation

**Editorial: Investigar para que siga la Fiesta**  
Editorial: Keep Researching So the Party Goes On  
*Andrés Darío Toro-Rendón*

**Metaheurísticas Multiobjetivo Cardumen de Peces Artificiales (FAFS) y Optimización Evolucionaria porEnjambre de Partículas con Topología Estocástica Global Individual (FEPSO GIST). Parte I: Antecedentes y Desarrollos Teóricos**  
Multiobjective Metaheuristics Artificial Fish School (FAFS) and Evolutionary Particles Swarm Optimization with Global Individual Stochastic Topology (FEPSO GIST). Part I: Framework and Theoretical Developments  
*Gustavo Alejandro Schweickardt*

**Caracterización de Formatos de Almacenamiento, Transporte y Visualización de Datos Geográficos**  
Characterization of Storage, Transport and Visualization of Geographic Data Formats  
*Dario Enrique Soto-Durán*  
*María Isabel Marín-Morales*  
*Fabio Alberto Vargas-Agudelo*

**Caracterización del Sector Cerámico Tradicional del Valle de Aburrá y los Riesgos Profesionales Latentes en su Proceso Productivo**  
Characterization of Traditional Ceramic Sector in Aburrá Valley and Professional Risk Latent in their Production Process  
*Gian Paolo Montoya-Rivas*  
*Renata Montoya-Rivas*  
*Julián Bótero-Giraldo*

**Propuesta de un Modelo de Gestión de Servicios en la Nube para la Manipulación de Sistemas Robóticos con el uso de Dispositivos Móviles**  
Proposal of a Management Service Model to Handle Cloud Robotic Systems by Means of Mobile Devices  
*Jaime Alberto Guzmán-Luna*  
*Ingrid-Durley Torres-Pardo*  
*Paola Andrea Galeano-Hincapié*

**Interfaz Colaborativa y Emocional para Interpretar el Sentido Común**  
Collaborative and Emotional Interface to Interpret the Common Sense  
*Alberto Balcázar-Rengifo*  
*Fabio Hernán Cerón*  
*César A. Collazos*  
*Rosa Gil-Iranzo*

**Administración Científica de Aprovechamientos Forestales de Guadua**  
Scientific Management at Bamboo Forestries  
*Camilo Andrés Grajales-López*

**LEGO Mindstorms NXT: Juego como Herramienta de aprendizaje de Programación**  
LEGO Mindstorms NXT: Game as a Tool for Programming Learning  
*Leidy Diana Jiménez-Pinzón*  
*Rafael Esteban Arango-Sánchez*  
*Jovani Alberto Jiménez-Builes*

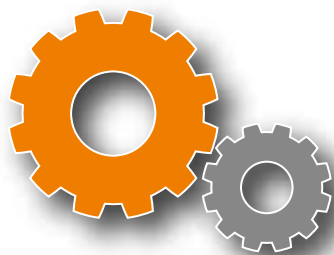
**Una Plataforma en EMSO® para Modelar Pérdidas por Fricción en Plantas de Procesos**  
An EMSO® Platform to Model Friction Losses in Process Plants  
*Jenny Lorena Díaz-Castañeda*  
*Hernán Darío Álvarez*

**Hacia un Metamodelo para la Gestión Ambiental de los Recursos Hidrológicos**  
Towards a Meta-Model for Environmental Management of Hydrological Resources  
*José Armando Ordóñez-Córdoba*  
*Juan Carlos Corrales*  
*José Luis Arciniegas*  
*Apolinar Figueroa*

**Modelos de Requisitos Basados en I\* para Detectar Proactividad en Dashboards**  
Requirements for I\* Based Models to Detect Proactivity in Dashboards  
*Alain Pérez-Acosta*  
*Mailyn Moreno-Espino*

**La Ingeniería de Requerimientos en las Pequeñas Empresas del Departamento de Risaralda**  
Engineering Requirements in Small Business within the Department of Risaralda  
*Cristian Andrés De-La-Cruz-Londoño*  
*Gustavo Andrés Castro-Guevara*

**Creación de Libros Colaborativos en el Marco de la Iniciativa LATIn**  
Collaborative Book Creation based upon the LATIn Initiative  
*César A. Collazos*  
*Xavier Ochoa*  
*Virginia Rodes*  
*Jorge Maturana*



FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA

Facultad de  
Ingenierías



©Fundación Universitaria Luis Amigó

**Lámpsakos**

N°.12, julio-diciembre de 2014

ISSN: 2145-4086

**Rector**

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

**Vicerrectora de Investigaciones**

Isabel Cristina Puerta Lopera

**Director de Programa Ingeniería de Sistemas**

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

**Jefe Departamento de Fondo Editorial**

Carolina Orrego Moscoso

**Diagramación y diseño**

Arbey David Zuluaga Yarce

**Corrector de estilo**

Juan Carlos Rodas Montoya

**Contacto editorial**

Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A #67 B 90.

Medellín, Antioquia, Colombia. Tel: (574) 448 76 66

(Ext. 9711. Departamento de Fondo Editorial). [www.funlam.edu.co](http://www.funlam.edu.co)

- [fondoeditorial@funlam.edu.co](mailto:fondoeditorial@funlam.edu.co)

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías de la  
Fundación Universitaria Luis Amigó.

Hecho en Colombia.

Financiación realizada por la Fundación Universitaria Luis Amigó.

# LÁMPSAKOS

## Director de la revista

Gabriel Jaime Correa Henao, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

## Comité científico

Daniel Borrajo Millán, Ph.D. Universidad Carlos III. Madrid, España.

Amit Chaudhry, Ph.D. Panjab University. Chandigarh, India.

Óscar Sapena Vercher, Ph.D. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Giner Alor Hernández, Ph.D. Instituto Tecnológico de Orizaba. Veracruz, México.

Rubén Ángel Galindo Aires, Ph.D. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Julián Alberto Patiño Murillo, Ph.D(c). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Néstor Raúl Londoño, MSc. DEC Consultoría. Medellín, Colombia.

Denis Derivet Thureaux, MSc. Universidad de Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.

Darío Ernesto Jaén Navarro, Esp. Universidad de San Buenaventura. Medellín, Colombia.

Valerio Adrián Anacleto, Lic. Epidata Consulting. Buenos Aires, Argentina.

## Comité editorial

Marcelo Becker, Ph.D. Universidade de São Paulo, Brasil.

Ulises Juárez Martínez, Ph.D. Instituto Técnico de Orizaba. Veracruz, México.

Alexander García Castro, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Aldo Pardo García, Ph.D. Universidad de Pamplona, Colombia.

Francisco Javier Aguirre, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Mauricio López Bonilla, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

## Comité de árbitros de la edición

Jorge Alberto Hernández Cerón, Ph.D. Universidad de Ibagué, Colombia.

Nazly Sánchez, Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Edison Humberto Osorio, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Franklin Ferraro Gómez, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Gonzalo Jiménez Jaramillo, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Álvaro de Jesús Ochoa Calle, Ph.D(C). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México

Julián Alberto Patiño Murillo, Ph.D(c). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Juan David González Ruiz, Ph.D(c). Institución Universitaria ESUMER. Medellín, Colombia

Íngrid Durley Torres Pardo, Ph.D(c). Institución Universitaria Salazar y Herrera. Medellín, Colombia.

Juan Carlos Monsalve López, Ph.D(c). Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Éder Acevedo, Ph.D(c). Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia

Víctor Daniel Gil Vera, Ph.D(c). Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Juan Carlos Giraldo Mejía, MSc. Universidad de San Buenaventura. Medellín, Colombia

Ángela Isabel Giraldo Suárez, MSc. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia.

Guillermo Henao Restrepo, MSc. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia

Álvaro Andrés Ramírez Piñeros, MSc. ISAGEN S.A E.S.P. Medellín, Colombia

Carlos Alberto Hernández Medina, MSc. Centro Universitario Municipal Camajuaní, Villa Clara, Cuba.

Amikar Álvarez Cuadrado, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Gabriel Jaime Posada Hernández, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó

Walter Darién Gómez Torres, Esp. Tecnológico de Antioquia. Medellín, Colombia.

## Edición

Fundación Universitaria Luis Amigó.

## Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Antioquia, Colombia.

## Para sus contribuciones

lampsakos@funlam.edu.co

<http://www.funlam.edu.co/lampsakos>

Facultad de Ingenierías. Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A # 67B - 90. Medellín, Antioquia, Colombia.

ISSN: 2145-4086

No. 12, julio-diciembre de 2014

## Fundada en 2009

*Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica o tecnológica de las áreas de las ingenierías. Su periodicidad es semestral con alcance nacional e internacional. Está destinada a estudiantes, investigadores, profesionales y personas interesadas en estos temas.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, éstos no comprometen en ningún sentido a la Fundación Universitaria Luis Amigó.

La reproducción de los artículos se regirá conforme a lo descrito en <http://creativecommons.org/>

## CONTENIDO

### Presentación

**Editorial: Investigar para que Siga la Fiesta .....** 10  
*Andrés Darío Toro-Rendón*

**Metaheurísticas Multiobjetivo Cardumen de Peces Artificiales (FAFS) y Optimización Evolucionaria por Enjambre de Partículas con Topología Estocástica Global Individual (FEPSO GIST). Parte I: Antecedentes y Desarrollos Teóricos .....** 13  
*Gustavo Alejandro Schweickardt*

**Caracterización de Formatos de Almacenamiento, Transporte y Visualización de Datos Geográficos .....** 23  
*Darío Enrique Soto-Durán*  
*María Isabel Marín-Morales*  
*Fabio Alberto Vargas-Agudelo*

**Caracterización del Sector Cerámico Tradicional del Valle de Aburrá y los Riesgos Profesionales Latentes en su Proceso Productivo .....** 34  
*Gian Paolo Montoya-Rivas*  
*Renata Montoya-Rivas*  
*Julián Botero-Giraldo*

**Propuesta de un Modelo de Gestión de Servicios en la Nube para la Manipulación de Sistemas Robóticos con el uso de Dispositivos Móviles .....** 43  
*Jaime Alberto Guzmán-Luna*  
*Ingrid-Durley Torres-Pardo*  
*Paola Andrea Galeano-Hincapié*

## CONTENTS

### Presentation

**Editorial: Keep Researching So the Party Goes On .....** 10  
*Andrés Darío Toro-Rendón*

**Multiobjective Metaheuristics Artificial Fish School (FAFS) and Evolutionary Particles Swarm Optimization with Global Individual Stochastic Topology (FEPSO GIST). Part I: Framework and Theoretical Developments .....** 13  
*Gustavo Alejandro Schweickardt*

**Characterization of Storage, Transport and Visualization of Geographic Data Formats ....** 23  
*Darío Enrique Soto-Durán*  
*María Isabel Marín-Morales*  
*Fabio Alberto Vargas-Agudelo*

**Characterization of Traditional Ceramic Sector in Aburrá Valley and Professional Risk Latent in their Production Process .....** 34  
*Gian Paolo Montoya-Rivas*  
*Renata Montoya-Rivas*  
*Julián Botero-Giraldo*

**Proposal of a Management Service Model to Handle Cloud Robotic Systems by Means of Mobile Devices .....** 43  
*Jaime Alberto Guzmán-Luna*  
*Ingrid-Durley Torres-Pardo*  
*Paola Andrea Galeano-Hincapié*

<b>Interfaz Colaborativa y Emocional para Interpretar el Sentido Común</b> .....	52
<i>Alberto Balcázar-Rengifo</i>	
<i>Fabio Hernán Cerón</i>	
<i>César A. Collazos</i>	
<i>Rosa Gil-Iranzo</i>	
<b>Administración Científica de Aprovechamientos Forestales de Guadua</b> .....	62
<i>Camilo Andrés Grajales-López</i>	
<b>LEGO Mindstorms NXT: Juego como Herramienta de aprendizaje de Programación</b> .....	72
<i>Leidy Diana Jiménez-Pinzón</i>	
<i>Rafael Esteban Arango-Sánchez</i>	
<i>Jovani Alberto Jiménez-Builes</i>	
<b>Una Plataforma en EMSO® para Modelar Pérdidas por Fricción en Plantas de Procesos</b> .....	79
<i>Jenny Lorena Díaz-Castañeda</i>	
<i>Hernán Darío Álvarez</i>	
<b>Hacia un Metamodelo para la Gestión Ambiental de los Recursos Hidrológicos</b> ....	92
<i>José Armando Ordoñez-Córdoba</i>	
<i>Juan Carlos Corrales</i>	
<i>José Luis Arciniegas</i>	
<i>Apolinar Figueroa</i>	
<b>Modelos de Requisitos Basados en I* para Detectar Proactividad en Dashboards</b> .....	101
<i>Alain Pérez-Acosta</i>	
<i>Mailyn Moreno-Espino</i>	
<b>La Ingeniería de Requerimientos en las Pequeñas Empresas del Departamento de Risaralda</b> .....	110
<i>Cristian Andrés De-La-Cruz-Londoño</i>	
<i>Gustavo Andrés Castro-Guevara</i>	
<b>Creación de Libros Colaborativos en el Marco de la Iniciativa LATIn</b> .....	120
<i>César A. Collazos</i>	
<i>Xavier Ochoa</i>	
<i>Virginia Rodes</i>	
<i>Jorge Maturana</i>	

<b>Collaborative and Emotional Interface to Interpret the Common Sense</b> .....	52
<i>Alberto Balcázar-Rengifo</i>	
<i>Fabio Hernán Cerón</i>	
<i>César A. Collazos</i>	
<i>Rosa Gil-Iranzo</i>	
<b>Scientific Management at Bamboo Forestries</b> .....	62
<i>Camilo Andrés Grajales-López</i>	
<b>LEGO Mindstorms NXT: Game as a Tool for Programming Learning</b> .....	72
<i>Leidy Diana Jiménez-Pinzón</i>	
<i>Rafael Esteban Arango-Sánchez</i>	
<i>Jovani Alberto Jiménez-Builes</i>	
<b>An EMSO® Platform to Model Friction Losses in Process Plants</b> .....	79
<i>Jenny Lorena Díaz-Castañeda</i>	
<i>Hernán Darío Álvarez</i>	
<b>Towards a Meta-Model for Environmental Management of Hydrological Resources</b> ....	92
<i>José Armando Ordoñez-Córdoba</i>	
<i>Juan Carlos Corrales</i>	
<i>José Luis Arciniegas</i>	
<i>Apolinar Figueroa</i>	
<b>Requirements for I* Based Models to Detect Proactivity in Dashboards</b> .....	101
<i>Alain Pérez-Acosta</i>	
<i>Mailyn Moreno-Espino</i>	
<b>Engineering Requirements in Small Business within the Department of Risaralda</b> .....	110
<i>Cristian Andrés De-La-Cruz-Londoño</i>	
<i>Gustavo Andrés Castro-Guevara</i>	
<b>Collaborative Book Creation based upon the LATIn Initiative</b> .....	120
<i>César A. Collazos</i>	
<i>Xavier Ochoa</i>	
<i>Virginia Rodes</i>	
<i>Jorge Maturana</i>	

# PRESENTACIÓN

La revista *Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, y una circulación online de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la Revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigadores, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos y productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la Inge-

nería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, sistemas de información, ingeniería de requerimientos, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, sistemas inteligentes, control, automatización y robótica, ciberseguridad, ingeniería ambiental, gestión de recursos hidráulicos, gestión del agua, eficiencia energética, simulación de sistemas, investigación de operaciones, gestión del conocimiento en ingeniería, educación en ingeniería, gerencia de proyectos, control de procesos, química, desarrollo de materiales, termodinámica, mercados de la energía, física, nanotecnología, estrategias de mantenimiento industrial y modelos computacionales.

# PRESENTATION

*Lámpsakos* journal is a publication ascribed to the Faculty of Engineering of Fundación Universitaria Luis Amigó, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (published in June and December) with national and international coverage. The journal is a free access online circulation magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed

around engineering. The journal publishes papers of scientific, professional and technological fields such as Computer Science, Information Systems, Requirements Engineering, Electronics Engineering, Electrical Engineering, Intelligent Systems, Control, Automation and Robotics, Cyber Security, Environmental Engineering, Water Resources Management, Water Management, Energy Efficiency, System Simulation, Operations Research, Engineering Knowledge Management, Education, Engineering, Project Management, Process Control, Chemistry, Materials Development, Thermodynamics, Energy Markets, Physics, Nanotechnology, Industrial Maintenance Strategies and Computational Models.

# ORIGINALIDAD Y DIVULGACIÓN DE ARTÍCULOS

Los trabajos publicados en la revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento y podrá ser reproducida por cualquier medio, haciendo mención de la fuente.

El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía y autorizan a la revista y a la Institución para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico.

Los artículos son producto de un proceso de investigación de los autores y han sido valorados previamente por colegas expertos antes de ser presentados a publicación.

Las opiniones y afirmaciones que aparecen en la publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores y no comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la FUNLAM, la Facultad de Ingenierías o la revista *Lámpsakos*.



# EDITORIAL

# EDITORIAL

## INVESTIGAR PARA QUE SIGA LA FIESTA

## KEEP RESEARCHING SO THE PARTY GOES ON

**Andrés Darío Toro-Rendón, MSc.**

*Unidad CET Estudios y Diseños Distribución Eléctrica  
Empresas Públicas de Medellín EPM E.S.P  
Medellín, Colombia  
Andres.Toro@epm.com.co*

Crecer y mejorar parecen ser las metas más frecuentes que se plantean las empresas. Sin embargo, los contextos en los que se dan y sus resultados no siempre satisfacen las necesidades de los seres humanos ni de la sociedad.

Y ¿cuáles son esas necesidades? La respuesta a esta pregunta sería subjetiva, pues la respondería un ser humano que vive, siente y sueña. Entonces las respuestas tendrían que darse en esos mismos términos, por lo que las necesidades no serían distintas a las de vivir, sentir y soñar por el mayor tiempo posible. ¿Acaso serán suficientes cinco años, 50 años, una generación, varias generaciones o por siempre? Sin duda, lo ideal sería por siempre, aunque sería más fácil encontrar soluciones para cinco años.

Pues bien, esto último es por lo que normalmente optan las empresas. Las metas de largo plazo son fijadas a cinco años, tales como crecer las ventas, aumentar los ingresos, incrementar el número de clientes, incursionar en nuevos mercados y que las utilidades sean mayores. Esto en tan sólo cinco años. Y como en cualquier actividad humana, se depende de la naturaleza para cumplir con estos objetivos, la cual tiene un ritmo más lento para reponerse. Los im-

pactos de la contaminación y los daños ambientales que se generan por tratar de cumplir con estas metas se percibirán en décadas y, seguramente, serán imperceptibles en cinco años.

Y ¿qué hay del anhelo humano de vivir, sentir y soñar por siempre? Queremos que la fiesta de la vida dure mucho, no sólo cinco años, y que ojalá alcance para nuestros hijos y nietos. Tendríamos mayor probabilidad de lograrlo si este propósito fuera de la sociedad en su conjunto, incluidas las personas que conforman las empresas y toman las decisiones. Sin embargo, pretender que algunas empresas cambien por su propia cuenta sus estrategias y metodologías, parece poco probable. Múltiples de estas estrategias fueron aprendidas de “gurús” que ganan mucho dinero con sus libros o conferencias, o quizás copias de modelos tomados de países “desarrollados”.

Es aquí donde el Estado y la política juegan un papel fundamental, pues son las herramientas para garantizar la supervivencia y la sostenibilidad de la sociedad, lo que es más real en sociedades maduras que han cultivado valores. La política o la regulación que aplica a los negocios de las empresas, constituye el mecanismo a través del cual la sociedad intenta

satisfacer las necesidades de varias generaciones futuras. Los casos que mejor pudieran ilustrar esta situación son los de la industria de los alimentos y el de las empresas prestadoras de servicios públicos de agua y energía, entre otros. En particular, en el sector de los servicios públicos es en el que se tienen las más elaboradas políticas en todos los países del mundo, con el fin de garantizar su sostenibilidad y sus precios asequibles a largo plazo.

Si coincidimos en que la vida está ligada al agua y a la energía, entonces inferimos que el tema de los servicios públicos es clave para la sociedad, por lo que a la política que regula este negocio debería dársele especial atención y prioridad en los ámbitos gubernamental y académico.

Desafortunadamente las evidencias demuestran que la sociedad no ha resuelto los problemas asociados con los servicios públicos. Tal vez tengamos algunas soluciones para los próximos cinco o 10 años, quizás para una generación, pero no pudiéramos asegurar que funcionen para varias generaciones, mucho menos para siempre, lo que se deduce de noticias referidas a personas y animales que mueren por la falta o la calidad del agua, cuando se anuncian grandes proyectos con altos costos económicos y ambientales para la obtención y purificación del agua o para la producción de energía y cuando satisfacer la alta demanda de energía conduce a desastres naturales. Llama la atención que se den algunos de estos hechos principalmente en países como Colombia, ricos en recursos naturales.

Entonces, ¿qué hacer para que la fiesta de la vida nunca pare? De acuerdo con lo anterior, la sociedad debería exigir una política o una regulación más fuerte y más rigurosa sobre servicios públicos. Dichas políticas deberían tener como referencia los más altos estándares, incluso mayores a los que se proponen como óptimos, pues los análisis para su definición frecuentemente son financieros.

Por la gran complejidad que implica el análisis de los servicios públicos, en los que predominan temas químicos, físicos, biológicos, legales y, en general, de ingeniería, pocas personas pudieran aportar a su estudio. Por eso las universidades juegan un papel decisivo puesto que allí se encuentran las personas más capacitadas para realizar dichos análisis y sugerir las mejores políticas.

Si bien es cierto que muchas investigaciones se dan alrededor de temas relacionados con agua y energía, también es cierto que muy pocos estudios consideran el tema de los servicios públicos, a pesar de tener un alto impacto en la sociedad, más cercano y más tangible para la mayoría de las personas.

Por lo anterior, las universidades deberían incentivar más las investigaciones relacionadas con los servicios públicos, con el uso de referentes como la regulación actual, con el fin de cuestionarla y mejorarla. Lejos de un afán de negocio, el objetivo sería garantizar su sostenibilidad por varias generaciones y ojalá por siempre. Esta debería ser reconocida como la principal responsabilidad de las universidades, investigar para que siga la fiesta.

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

# METAHEURÍSTICAS MULTI OBJETIVO CARDUMEN DE PECES ARTIFICIALES (FAFS) Y OPTIMIZACIÓN EVOLUCIONARIA POR ENJAMBRE DE PARTÍCULAS CON TOPOLOGÍA ESTOCÁSTICA GLOBAL INDIVIDUAL (FEPSO GIST). PARTE I: ANTECEDENTES Y DESARROLLOS TEÓRICOS

## MULTIOBJECTIVE METAHEURISTICS ARTIFICIAL FISH SCHOOL (FAFS) AND EVOLUTIONARY PARTICLES SWARM OPTIMIZATION WITH GLOBAL INDIVIDUAL STOCHASTIC TOPOLOGY (FEPSO GIST). PART I: FRAMEWORK AND THEORETICAL DEVELOPMENTS

**Gustavo Alejandro Schweickardt, PhD.**

*Grupo de Investigación sobre Economía Computacional de Regulación de Redes y Energías Renovables  
Universidad Tecnológica Nacional  
Concepción del Uruguay, Argentina  
gustavoschweickardt@conicet.gov.ar*

(Recibido el 20-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** El presente trabajo describe un modelo para la optimización del grado de desbalance de cargas en una red trifásica de distribución de energía eléctrica (SDEE) en baja tensión (BT). Se presenta la integración de dos novedosas metaheurísticas: FEPSO GIST (*Fuzzy-MultiObjective Particles Swarm Optimization with Global/Individual Stochastic Topology*) desarrollada por el autor, y FAFS (*Fuzzy-MultiObjective Artificial Fish Shool*), cuya extensión multiobjetivo es propuesta por el autor, se valoriza la función de aptitud mediante conjuntos difusos. El problema propuesto ya ha sido resuelto en un trabajo presentado por el autor, mediante la metaheurística FPSO, y su solución constituye una referencia para comparar resultados. Entre los inconvenientes producidos por un elevado grado de desbalance en las fases del sistema, se consideran la minimización de las pérdidas técnicas y la mejora del perfil de tensiones. Ambos aspectos, relacionados con el uso racional de la energía propiciado desde el lado de la oferta, son observados por la autoridad regulatoria. Se presenta, adicionalmente, un modelo matheurístico que combina el enfoque clásico del problema, con el uso de programación lineal entera-mixta con las dos metaheurísticas introducidas, FEPSO GIST y FAFS. Se comparan los resultados de aplicar los modelos sobre el mismo SDEE BT considerado en el enfoque resuelto vía FPSO. En esta Parte I se abordan los antecedentes y desarrollos teóricos requeridos en la aplicación.

**Palabras clave:** Cardumen de peces artificiales; Desbalance de cargas; Enjambre de partículas; Metaheurísticas; Sistemas de distribución de energía eléctrica.

**Abstract.** This work presents a model to Low Voltage (LV) Unbalance Degree Optimization in a Three-phase Electric Distribution Network (EDN). The combination of two new Fuzzy-MultiObjective MetaHeuristics FEPSO GIST (*Fuzzy Particles Swarm Optimization with Global/Individual Stochastic Topology*) proposed by the author and, FAFS (*Fuzzy Artificial Fish Shool*) extended to MultiObjective domain by the author, using Fuzzy Sets, are presented. Of multiple problems resulting from such unbalance degree, are considered the technical losses and the voltage drops. Both aspects are fundamentals in the rational use of energy, when this objective is focused from the offer side, and are observed for Regulatory Authority. In addition, a MatHeuristic approach composed for the classical approach based in Mixed-Integer Linear Programming and FEPSO GIST-FAFS MetaHeuristics, is introduced. In this Part I of the work, the framework and theoretical developments, required for the Models application, are presented.

**Keywords:** Artificial Fish School, Electric Distribution Systems, MetaHeuristics, Particles Swarm, Load Unbalance.

## 1. INTRODUCCIÓN

El balance de fases en un sistema trifásico de distribución eléctrica en baja tensión, es un problema que exhibe una apariencia menor, razón por la cual, tal vez, no ha sido muy tratado de manera formal conforme se observa en el estado del arte. Más allá de esta apariencia, su importancia es fundamental, puesto que el mayor porcentaje de pérdidas de las redes de distribución se encuentran en los sistemas de baja tensión. Pueden referirse, al menos, dos razones por las que este problema no ha sido abordado formalmente y de manera adecuada: **a)** es de compleja solución (combinatorio) y **b)** en los últimos años, a partir de la reforma, las regulaciones eléctricas se han preocupado más por los aspectos de calidad y por el uso racional de la energía desde la perspectiva de la oferta. Históricamente han sido razones técnicas las que han impuesto límites a las pérdidas y perfiles de tensión, y no económicas (se hace referencia a un costo social de oportunidad), enfoque que se intenta establecer en la actualidad [1].

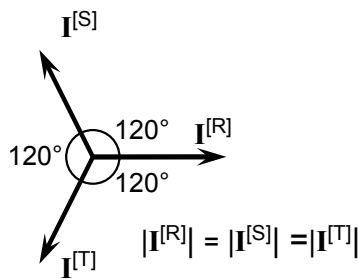
El presente trabajo intenta hallar una solución formal y superadora, respecto de las existentes, aun la obtenida desde la metaheurística propuesta en [1], para que se minimicen los efectos de un grado significativo de desbalance de fases, re-balanceándolas y con un criterio que contemple el menor número posible de cambios. Esta primera parte del trabajo presenta los antecedentes del problema y los desarrollos teóricos previos, requeridos para la implementación de las metaheurísticas FEPSO GIST, FAS, combinación de ambas y una matheurística que integra los algoritmos metaheurísticos con programación lineal entera-mixta (MIP). Los desarrollos se han ordenado como sigue: en la sección 2 se describe el problema referido en la literatura como balance de cargas o balance de fases, indistintamente. Se presentan los enfoques tradicionales para su solución, así como sus limitaciones cuando es tratado mediante instrumentos cuya complejidad no escapa de la programación matemática clásica. En la sección 3 se desarrollan las definiciones necesarias para comprender los conceptos de metaheurística y matheurística, insertas en el marco de la inteligencia computacional. En la sección 4 se desarrollan los principios de la denominada inteligencia de grupo (*Swarm Intelligence*), que sustentan los algoritmos bio-inspirados. Luego, se presentan, en tal contexto, la metaheurística PSO, y sus variantes hasta llegar a la EPSO, así

como la AFS. Por último, en la sección 5, se presentan algunas conclusiones que permitirán abonar los desarrollos específicos de las meta/matheurísticas usadas en la solución del problema planteado con una formulación multiobjetivo.

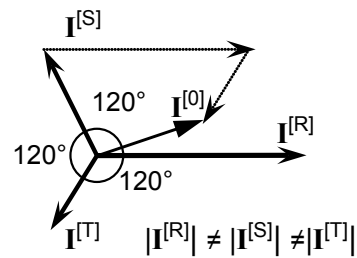
## 2. EL PROBLEMA DEL BALANCE DE CARGAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN

### 2.1. Caracterización del problema

El sistema de distribución de energía eléctrica en baja tensión (SDEE BT) que se adoptará como referencia, sin pérdida de generalidad alguna, será empleado en las simulaciones presentadas en la segunda parte del artículo, y se corresponde con los parámetros eléctricos y de diseño vigentes en Argentina. El SDEE BT, parte de centros de transformación de media tensión a baja tensión (CT MT/BT), 13,2/0,38 (kV), 50 (hz), en los que se emplazan uno o más transformadores, que presentan cierto número de *salidas* en BT. Dicho número aumenta con la potencia instalada. Desde cada *salida* (en un transformador para un CT tipo *plataforma*, de 315 (kVA), se tienen 4-6 *salidas*), parte un *alimentador* que, a su vez, tiene *ramales en derivación*, llamados *secundarios* (los cuales pueden tener *derivaciones terciarias*, y así sucesivamente), y se conforma una *red independiente* cuya *topología de operación es radial*. El sistema es *trifásico*, pero las cargas conectadas en los diferentes nodos de los alimentadores primarios o sus derivaciones, resultan, en su mayoría, *monofásicas*. Esto le confiere un carácter, si bien *simétrico* (dos *fases* contiguos difieren en 120° eléctricos), *desbalanceado* (*módulos* distintos). Significa que el sistema de BT, *opera necesariamente con cierto grado de desbalance en sus tres fases*. En la Figura 1 se muestra un *sistema trifásico de corrientes (intensidades o cargas) simétrico balanceado* (referido como *perfecto*) y en la Figura 2 se observa un sistema *simétrico desbalanceado*.



**Figura 1.** Sistema trifásico de intensidades simétrico y balanceado



**Figura 2.** Sistema trifásico de intensidades simétrico y desbalanceado

Sin embargo, en la medida que tal desbalance exhiba un grado más pronunciado, se advierten, por lo menos, tres problemas relacionados con las pérdidas, la calidad del suministro y la confiabilidad del sistema:

**a)** Existe un aumento en las pérdidas técnicas (potencia y energía) del sistema. En segmentos urbanos/suburbanos, para sistemas de BT que utilizan 0.38 [kV] de tensión nominal de suministro, el nivel de pérdidas técnicas de potencia se sitúa entre un 5 a 10%. El último valor se observa, principalmente, en zonas carenciadas por el tipo constructivo de red que se usa (frecuentemente, conductores desnudos conocidos como convencionales); **b)** Disminuye la calidad del producto técnico tensión de suministro, controlada por la regulación. La tolerancia, regulatoriamente establecida, sobre la tensión de suministro para redes como las descritas en el ítem anterior, está entre un 5% (zonas urbanas, con alta densidad de carga) y un 7% (zonas rurales, con baja densidad de carga) respecto de la tensión de suministro nominal; **c)** El desbalance de intensidades, para sistemas con neutro puesto a tierra, genera una corriente de secuencia cero, componente homopolar,  $I^{[0]}$  (suma de las intensidades de las tres fases y que circulará por tierra), de un valor tal que puede accionar las protecciones contra cortocircuitos en el sistema MT, “aguas arriba”. Particularmente, por la falla monofásica/fase a tierra (la más frecuente: un 80% de las fallas son de este tipo). En la Figura 1 se observa que la suma fasorial de las intensidades es nula, mientras que en la Figura 2 no lo es. El sistema pierde confiabilidad por cuanto las protecciones interpretan los fuertes desbalances como una señal de cortocircuito y se interrumpe el servicio. Esto, como se dijo, adquiere mayor relevancia en el subsistema de MT, pues las cargas para el mismo resultan ser los CT MT/BT (sin considerar los grandes usuarios en MT, que son pocos, relativamente). Los desbalances en

BT, se reflejan, entonces, “aguas arriba” como cargas desbalanceadas en MT. En este subsistema, existen protecciones accionadas por componente homopolar mayor que cierto nivel de disparo. Por ello se requiere especial cuidado con su ajuste. El problema de optimización en el grado de desbalance de fases, se define como la búsqueda de aquella configuración de conexiones de las cargas a las fases [R, S, T] en el sistema, tal que propenda por evitar, en el mayor nivel posible, los inconvenientes descritos en **a)**, **b)** y **c)**. Como cada carga del sistema tiene tres opciones de conexión, se trata de un problema combinatorio, en rigor dado por las variaciones con repetición de las tres fases tomadas de  $nC$  cargas. El espacio de búsqueda tendrá, entonces,  $NE = 3^{nC}$  estados. Para el sistema cuyo esquema trifilar se presenta en las simulaciones de la segunda parte del presente trabajo, con  $nC = 115$  cargas, se tiene un espacio de búsqueda (o de soluciones) de  $NE = 3^{115}$  estados.

## 2.2. Primeros intentos de solución mediante búsqueda iterativa (BI). Modelo “prueba y error”

Los primeros intentos de solución para el *balance de fases*, responden, en su versión más sofisticada, al esquema presentado en la Figura 3. Este método es aplicado actualmente en una versión más simple que sustituye las *heurísticas*, y su compleja implementación desde el punto de vista informático, por *configuraciones de fases aleatoriamente generadas* [1].

Se itera, en este caso, un cierto número de veces para retener el mejor indicador de balance (IB). Dada la enorme cantidad de estados del espacio de búsqueda, como se explicó en el epígrafe anterior, en un sistema relevante, con un gran número de cargas. Este método constituye un pobre sondeo.

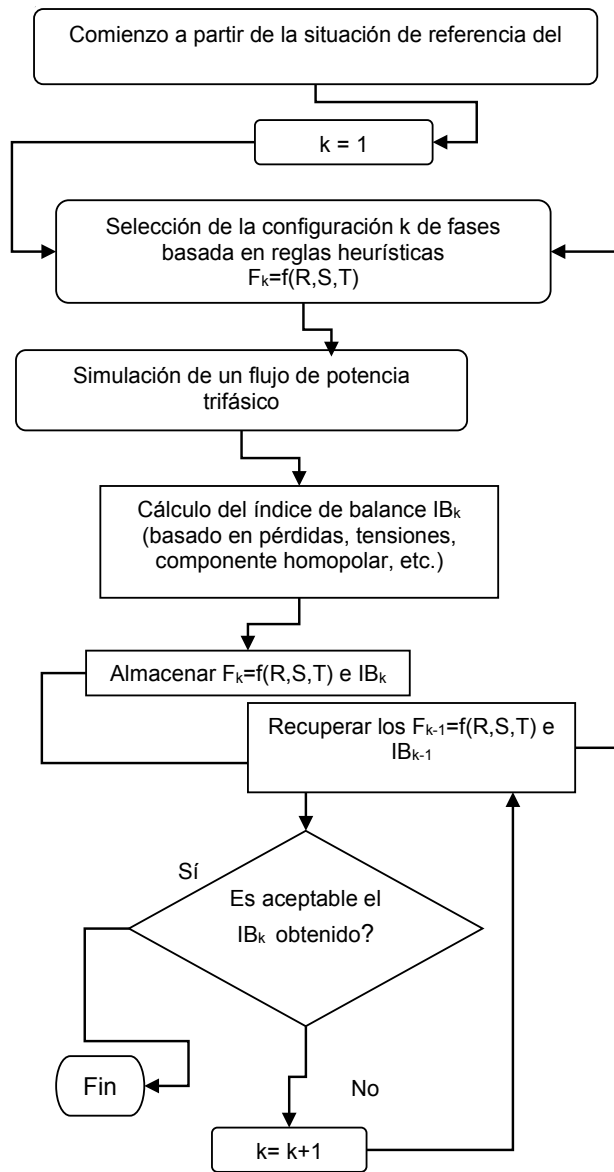


Figura 3. Esquema de solución del balance de fases por búsqueda iterativa.

Los pasos y simbología utilizados en el diagrama de la Figura 3, se explican en el mismo esquema secuencial.

### 2.3. El problema de desbalance de fases abordado mediante programación lineal entera-mixta (MIP).

Con un enfoque propiciado por técnicas de optimización clásicas, el modelo MIP fue presentado en [2]. Considérese un alimentador único, Pr, que tiene cierta conexión de cargas en nodos cuya distancia

a la salida de Pr, se encuentra definida. Se trata de encontrar la asignación óptima de las cargas para cada fase del sistema [R, S, T], tal que las intensidades, tomadas de a pares, esto es: [R, T], [S, T] y [R, S] exhiban una diferencia de módulos en cada rama (distancia entre dos nodos contiguos) que resulte mínima. Formalmente:

$$\text{Min } \{ \sum_j p_j \times U_j \}$$

Sujeto a:

$$U_j = \text{Max} \{ |I_j^{[R]} - I_j^{[T]}|; |I_j^{[S]} - I_j^{[T]}|; |I_j^{[R]} - I_j^{[S]}| \} \quad (1)$$

$$I_j^{[\Phi]} = \sum_k I_k^{[\Phi]} + \sum_w \delta_i^{[\Phi]} \times I_i^{[\Phi]_w} \quad (2)$$

$$\sum_w \delta_i^{[\Phi]_w} = 1; \forall [\Phi] \in \{R, S, T\} \quad (3)$$

$$\sum_w \delta_i^{[\Phi]_w} = 1; \forall [w] \in [1..nC] \quad (4)$$

$$|I_j^{[\Phi]}| \leq C_j \quad (5)$$

$$\delta_i^{[\Phi]_w} \in \{0, 1\} \forall [i, \Phi] \quad (6)$$

$$\sum_j p_j = 1; \forall [j] \in [1..nR] \quad (7)$$

donde: j es la rama genérica; U<sub>j</sub> es el desbalance de intensidades en la rama j; I<sub>j</sub><sup>[Φ]</sup> es la intensidad sobre la rama j en la fase Φ; δ<sub>i</sub><sup>[Φ]<sub>w</sub></sup> es la variable de decisión para la conexión de la carga w-ésima en el nodo i-ésimo, a la fase Φ, I<sub>i</sub><sup>[Φ]</sup>; i es el nodo "aguas abajo" o terminal de la rama j; C<sub>j</sub> es la capacidad de la línea en la rama j, por fase; nC es el número de cargas y nR es el número de ramas.

En esta formulación MIP, la igualdad (2) no es otra cosa que la Ley de Kirchhoff de las intensidades aplicada al nodo i (la suma fasorial de las intensidades en dicho nodo debe ser nula); las restricciones (3), (4) y (6) aseguran que una carga se asigne sólo a una fase; la restricción (5) asegura que no se vulnere los límites operacionales del alimentador (intensidad máxima); la condición (7) es necesaria puesto que las ramas deben tratarse de un modo independiente y fijar pesos al balance logrado en cada una de ellas. Se trata de una típica modelación lineal entera-mixta, que puede ser resuelta mediante un algoritmo de ramificación y acotamiento, incluido en cualquier paquete de software educacional o comercial. Sin embargo, hay que destacar algunas severas limitaciones en este enfoque: 1ro) La más importante: supone una característica de las cargas denominada de corriente constante. Esto significa que, independientemente de los cambios que se puedan producir en la tensión de nodo, la carga ajustará su impedancia para demandar siempre la misma intensidad. Esta es una simplificación que exime de em-



plear, por cada cambio de configuración (conexión a fases), un flujo de potencia trifásico para determinar el estado resultante del sistema analizado. De este modo se hace posible la linealización del problema ya que las intensidades (fasores), permanecen constantes. En sistemas reales, en los que predomina un consumo tipo residencial, esta característica de carga es improbable de sostener (mucho menos aún para todas las cargas/usuarios del sistema); **2do)** Se propone un índice de balance que intenta resolver, estrictamente, el ítem c) referido en el epígrafe **2.1**. Los autores infieren en su propuesta que tal solución propendería por la mejora de los dos primeros ítems, a) minimización de pérdidas y b) menores caídas de tensión. Esta aseveración, si bien en algún intervalo de solución es correcta, no siempre resulta válida, más cuando se habla de “óptimo” y en sistemas con un grado de desbalance muy elevado. En los resultados de la simulación que se presenta en la segunda parte del presente trabajo, puede ser observado este hecho; **3ro)** En un sistema (80-100 cargas), la modelación específica resulta de bastante a muy engorrosa de realizar. Más aún, si se aplicara a múltiples CT MT/BT, por cada salida se tendría una formulación distinta, motivo por el cual la optimización para un sistema de BT, puede tornarse impracticable; **4to)** Los ponderadores de la expresión (7) son subjetivos, de modo que el modelo resulta, en realidad, una de las formas más simples de la PL multiobjetivo y se presenta, muy discutible, “una” solución óptima; y **5to)** Se destaca, como en tantos otros casos de aplicación en el campo de los sistemas de potencia, que forzar la linealización de ecuaciones que resumen leyes de comportamiento claramente no lineales, por más que los métodos clásicos de optimización presenten elegantes soluciones, las mismas resultan de escasa o nula aplicabilidad práctica. Diferente es, en problemas del tipo combinatorio, fundamentalmente, generar modelos híbridos que combinan metaheurísticas con métodos clásicos (tal como la programación lineal o la dinámica), situación para la cual pueden obtenerse excelentes resultados.

Este modelo MIP fue implementado por el autor del presente trabajo sólo para el alimentador principal, Pr, considerado en la red BT presentada para las simulaciones realizadas en la segunda parte del presente trabajo. Se usó una versión educacional del software Lindo 6. Para el mismo caso, se implementó, además, y con fines comparativos, un algoritmo de búsqueda iterativa (BI). El BI, con 1000 iteraciones (25 min. de cálculo, aproximadamente, en un procesador de última generación, estándar en

el mercado), *generó mejores resultados que el MIP, no se logró obtener, para este último, un conjunto convexo de ponderadores (7) que mejorara la solución iterativa.* En el BI, se modelaron las cargas a *potencia constante* y se requirió del *flujo de potencia trifásico*, descrito en la segunda parte del presente trabajo. Se generaron *aleatoriamente* los *vectores de conexión* de las cargas a las fases [R, S, T] en cada iteración. El *desbalance total* se obtuvo como la *sumatoria de los desbalances en cada rama.*

### 3. DEFINICIONES RELACIONADAS CON LAS ESTRATEGIAS BIO-INSPIRADAS DE OPTIMIZACIÓN

#### 3.1. Métodos heurísticos

La etimología del término *heurística*, proviene de la palabra griega *heuriskein* que se traduce como *encontrar*. En el contexto del presente trabajo, es necesaria una definición, en tanto *Método heurístico*. Más allá de las múltiples interpretaciones y de la vastísima bibliografía al respecto, se propone aquí la idea de *Método heurístico* sugerida en [3]:

Un Método heurístico constituye un procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido, mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución. Desde la definición propuesta, el método está dirigido a un problema específico, del cual se conocen sus características (bien definido), con el propósito de sacar provecho de ellas en la estrategia de búsqueda concebida. La pregunta que cabe hacerse es: ¿cómo aprovechar las similitudes que ciertos problemas, fundamentalmente de carácter combinatorio, exhiben, cuando un método heurístico ha generado muy buenos resultados? Esta es la idea que subyace en el concepto de *metaheurística*.

#### 3.2. Métodos metaheurísticos

El término *metaheurística* deriva del complemento entre la palabra *heuriskein* y el prefijo *meta*, el cual se traduce como *más allá de* o *en un nivel superior de/a*. Fue introducido por primera vez por Fred Glover, al presentar el método (metaheurístico) denominado Tabu Search (Búsqueda Tabú) [4]. Sin embargo, existe una controversia respecto de si una metaheurística es diferente de una *heurística*, y va-

rias fuentes pueden ser citadas en tal sentido. Según [5]: **a)** Una metaheurística define un marco de referencia algorítmico cuyo enfoque puede ser especializado para resolver problemas de optimización; **b)** Una metaheurística constituye una estrategia de alto nivel que guía/conduce heurísticas en la búsqueda de soluciones factibles. Si se toma en consideración **a)**, se tiene un método heurístico, entendido como un marco de referencia algorítmico. En cambio, según **b)**, se observa una respuesta a la pregunta referida. Siguiendo esta línea, se adoptará la definición [6]:

*Una metaheurística se define como un proceso iterativo que guía una heurística subordinada, combinando diferentes conceptos para explorar y explotar las características que pueda exhibir el espacio de búsqueda.*

Frecuentemente, al considerar la referencia al término *proceso iterativo*, se suele hablar de *Algoritmo metaheurístico*. En el presente trabajo se utilizan de manera indistinta los términos *metaheurística* y *algoritmo metaheurístico*.

### 3.3. Principios de la inteligencia de grupo (Swarm Intelligence)

La inteligencia de grupo, IG, (o *Swarm Intelligence*) refiere un *tipo de inteligencia artificial*, basado en el comportamiento de *sistemas colectivos, auto-organizados*. La expresión fue introducida en 1989 por Gerardo Beni [7].

El término *Swarm* describió, a su entender, el comportamiento de los autómatas celulares, que exhiben características similares a las que se observan en ciertos sistemas biológicos, tales como los *insectos*. De esas características mencionó: la *descentralización, no-sincronización* y *simplicidad en los movimientos* de los miembros del grupo. Además, este término tiene una significación que lo trasciende: permite analizar el comportamiento social de grupos de individuos (peces, insectos, pájaros, etc.), e identificar el tipo de configuración en sus sistemas de cooperación y auto-adaptación, con el fin de hallar la manera óptima de alcanzar un objetivo. La *comunicación*, según los biólogos, constituye el parámetro *clave* en este proceso [8], de modo que a las cualidades mencionadas debe incorporársele la *cooperación* entre los individuos del *swarm*. Desde tales consideraciones pueden establecerse *cinco principios* que caracterizan la IG (*Swarm Intelligence Principles*).

Estos *principios*, y su breve enunciación, resultan: **IG1) Proximidad**: Promueve la habilidad que debe exhibir el grupo para ejecutar cálculos simples de espacio y tiempo en sus movimientos hacia el objetivo pretendido; **IG2) Calidad**: Promueve la habilidad del grupo para responder a los factores que induzcan mejoras en la aptitud de sus individuos, en el espacio de soluciones; **IG3) Diversidad de respuesta**: Promueve la posibilidad de que los individuos tengan respuestas diferentes ante los mismos estímulos; **IG4) Estabilidad**: Promueve la habilidad de que el grupo permanezca estable, en ausencia de estímulos que induzcan mejoras en las soluciones alcanzadas; y **IG5) Adaptación**: Constituye un aspecto complementario de la **Estabilidad**, puesto que promueve la habilidad de que los individuos reaccionen ante cualquier cambio en la aptitud de las soluciones alcanzadas.

Los principios de inteligencia de grupo tienen una incidencia fundamental en la definición de los algoritmos bio-inspirados, como lo son las metaheurísticas empleadas en este trabajo: las que están basadas en enjambre de partículas o formas X-PSO, clasificación propuesta por el autor en trabajos previos [1], o bien en la metaheurística AFS [9].

En la segunda parte del presente trabajo, conjuntamente con la medida en que tales principios IG son satisfechos por extender tales algoritmos metaheurísticos al dominio de aplicación multiobjetivo, serán introducidos otros dos requisitos adicionales para el éxito en el procedimiento de búsqueda más de la “solución más satisfactoria”, en lugar del “óptimo”, por las razones que se explicarán: La *pareto-dominancia* en el conjunto de *buenas soluciones*, y la *compatibilidad métrica* de las reglas de búsqueda conforme resulte el espacio de soluciones del problema que se ha de resolver.

## 4. METAHEURÍSTICAS DE LA FORMA X-PSO Y FSA

### 4.1. Forma X1: Formulación canónica de la metaheurística PSO

La optimización por enjambre de partículas (*Particle Swarm Optimization - PSO*), constituye un algoritmo metaheurístico presentado en [8]. Se inspira en el

movimiento colectivo de cardúmenes de peces, bandadas de pájaros o enjambres de abejas, que los autores refieren como *movimiento de partículas*.

Desde una *iteración* a la siguiente, cada *partícula* se mueve en el *espacio de búsqueda*, conforme a cierta *regla de movimiento* que depende de *tres factores*: se indicará mediante  $[p]$  el *vector de partículas en movimiento*, de modo que  $p_i$  resultará una *partícula individual* de las  $n$  que pertenecen al *enjambre*. Adicionalmente, se indicará mediante  $[b]$  el *vector de las mejores posiciones* (cada posición es, a su vez, un vector) que las partículas han alcanzado individualmente en las iteraciones anteriores (aspecto referido en el modelo como *vida pasada de la partícula*); entonces  $b_i$  se corresponderá con el *óptimo individual* de la partícula  $i$  en su *vida pasada*. Del mismo modo, se indicará mediante  $[b]_G$  el *vector cuyos elementos son las mejores posiciones globalmente alcanzadas por el conjunto de partículas en las iteraciones anteriores*; entonces se indicará mediante  $b_G$  al *óptimo global* alcanzado por el sistema de partículas hasta la iteración presente. Dado el *vector* que indica la *posición* de las partículas en cierta iteración  $k$ ,  $X^k$ , el *cambio de posición* en la iteración siguiente,  $k+1$ , para la *partícula*  $i$ -ésima, resultará de la siguiente *regla de movimiento*:

$$X^{[k+1]}_i = X^{[k]}_i + V^{[k+1]}_i \times \Delta t \quad (8)$$

Donde: el término  $V^{[k+1]}_i$  es referido como *velocidad de la partícula  $i$ -ésima*;  $\Delta t$  es el *paso de iteración* (similar *temporal*) e *igual a la unidad*. De modo que es más frecuente encontrar la expresión:

$$X^{[k+1]}_i = X^{[k]}_i + V^{[k+1]}_i \quad (9)$$

El vector velocidad para la partícula  $i$ -ésima, se expresa como sigue:

$$V^{[k+1]}_i = V^{[k]}_i + w_C \times (r_1^{[k]}) \times [b^{[k]}_i - X^{[k]}_i] + w_S \times (r_2^{[k]}) \times [b^{[k]}_G - X^{[k]}_i] \quad (10)$$

El primer término de la suma (10), representa la *inerencia* o hábito de la partícula  $i$ : tiende a mantener su movimiento, para la iteración  $k+1$ , en la dirección en la que se movía en la iteración  $k$ . El segundo término representa la *memoria* o *capacidad cognitiva* de la partícula  $i$ : es atraída por el mejor punto del espacio de búsqueda alcanzado individualmente en su vida pasada; y el tercer término representa la *cooperación* entre el conjunto o capacidad social, de

la partícula  $i$  respecto del enjambre: las partículas comparten información sobre la mejor posición globalmente alcanzada por el enjambre. La incidencia de estos factores sobre cada partícula está dada por las constantes o parámetros del modelo,  $w_{C,S}$ . El parámetro  $w_C$  recibe el nombre de *constante cognitiva* y el parámetro  $w_S$  se denomina *constante social* del enjambre. Intervienen los parámetros  $(r_1)$  y  $(r_2)$ , que son números aleatorios uniformemente distribuidos en  $[0,1]$ ,  $U[0,1]$ , y cuyo objetivo es emular el comportamiento estocástico (un tanto impredecible), que exhibe la población o enjambre, en cada iteración  $k$ .

#### 4.2. Forma X2: Formulación de la metaheurística PSO con función de decaimiento inercial

En esta forma, el *operador velocidad canónico*, dado por la expresión (10), es modificado mediante la introducción de una función decreciente con el número de iteraciones,  $k$ , denominada función de inercia o de decaimiento inercial,  $\delta(k)$ . Su objeto es *reducir, progresivamente, la importancia del término de inercia*. La expresión (10) es modificada y sustituye el primer término por el producto entre una nueva constante,  $w_I$ , denominada *constante de inercia* y tal función  $\delta(k)$ :

$$V^{[k+1]}_i = \delta(k) \times w_I \times V^{[k]}_i + w_C \times (r_1^{[k]}) \times [b^{[k]}_i - X^{[k]}_i] + w_S \times (r_2^{[k]}) \times [b^{[k]}_G - X^{[k]}_i] \quad (11)$$

Una forma típica para  $\delta(k)$  está dada por la siguiente expresión lineal:

$$\delta(k) = w_{Max} - k \times (w_{Max} - w_{Min}) / nTK \quad (12)$$

Donde:  $k$  es la *iteración actual*;  $nTK$  es el *número máximo de iteraciones* de la metaheurística; y  $[w_{Min}, w_{Max}]$  son dos *constantes inerciales, máxima y mínima*, cuyos valores típicos resultan ser 0,4 y 0,9, respectivamente. La función de decaimiento inercial requiere de cuidado, puesto que resulta intuitivo el hecho de que si el término de inercia resultara eliminado en iteraciones tempranas del algoritmo, el procedimiento corre el riesgo de quedar atrapado en una solución óptimo local (o subóptima).

#### 4.3. Forma X3: Formulación de la metaheurística PSO con factor de constricción

En este caso, el *operador velocidad canónico* se modifica como sigue:

$$\mathbf{V}^{[k+1]}_i = \chi \times \{ \mathbf{V}^{[k]}_i + \varphi_M \times (r_1^{[k]}) \times [\mathbf{b}^{[k]}_i - \mathbf{X}^{[k]}_i] + \varphi_C \times (r_2^{[k]}) \times [\mathbf{b}^{[k]}_G - \mathbf{X}^{[k]}_i] \} \quad (13)$$

Donde  $\chi$  se denomina factor de constricción y se obtiene desde la siguiente expresión condicionada:

$$\chi = 2 \times \kappa / \left| 2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4 \times \kappa} \right| \quad (14)$$

con:

$$\varphi_M + \varphi_C = \varphi; \varphi > 4 \text{ y } 0 < \kappa \leq 1 \quad (15)$$

#### 4.4. Forma X4: Formulación de la metaheurística PSO evolucionaria (EPSO)

La X-PSO EPSO (*Evolutionary Particle Swarm Optimization*), combina la *programación evolucionaria* mediante *operadores evolutivos* similares a los establecidos para los algoritmos genéticos (particularmente: *mutación, selección, combinación*) con el movimiento PSO, que se aplican sobre sus parámetros y óptimo global en la instancia de iteración k-ésima. La *ecuación evolutiva para la regla del movimiento* en el EPSO, se sintetiza en la *velocidad de la partícula i-ésima* (alteración del *operador canónico velocidad*):

$$\mathbf{V}^{[k+1]}_i = w_{i1}^{*[k]} \times (r_1^{[k]}) \times \mathbf{V}^{[k]}_i + w_{iC}^{*[k]} \times (r_2^{[k]}) \times [\mathbf{b}^{[k]}_i - \mathbf{X}^{[k]}_i] + w_{iS}^{*[k]} \times (r_3^{[k]}) \times [\mathbf{b}^{[k]*}_G - \mathbf{X}^{[k]}_i] \quad (16)$$

Donde: el superíndice (\*), significa que los parámetros son *evolutivos*, producto de la *mutación*. La *regla de mutación* aplicable a las constantes  $w_{i1, C, S}$  tiene, como expresión general:

$$w_{i1, C, S}^{*[k+1]} = w_{i1, C, S}^{[k]} \times [1 + \sigma \times N(0,1)] \quad (17)$$

Donde:  $\sigma$  es un parámetro de aprendizaje, externamente fijado, que controla la amplitud de las mutaciones;  $N(0,1)$  es una variable aleatoria con distribución gaussiana de media 0 y varianza 1. Adicionalmente, el óptimo global también es perturbado en cada iteración, según la regla:

$$\mathbf{b}^{[k+1]*}_G = \mathbf{b}^{[k]*}_G + w_{iN}^{*[k]} \times N(0,1) \quad (18)$$

Donde  $w_{iN}^{*[k]}$ , es un parámetro estratégico de la regla de movimiento, que controla la amplitud del vecindario de  $\mathbf{b}^{[k]*}_G$  donde es más probable localizar la mejor solución global (entendida, al menos, como una *solu-*

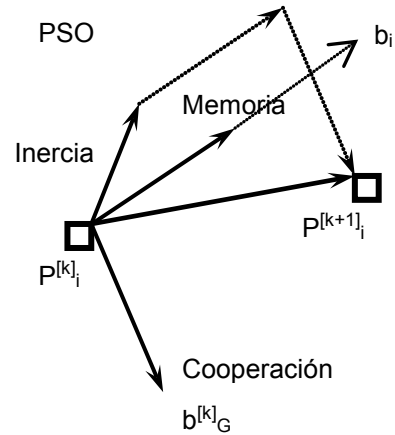


Figura 4. Ecuación de movimiento de una partícula PSO canónica.

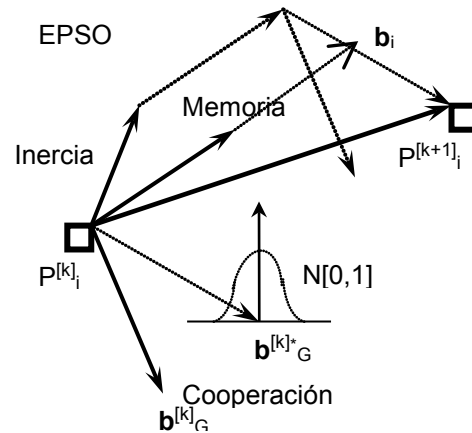


Figura 5. Ecuación evolutiva de movimiento de una partícula EPSO.

*ción mejor* que la  $\mathbf{b}^{[k]*}_G$  actual, para la iteración k). El nuevo parámetro, como se indica con el superíndice (\*), es también mutado según la regla (18).

En la Figura 4, se representa la composición vectorial correspondiente a la ecuación del movimiento correspondiente al algoritmo PSO canónico (o PSO) en dos dimensiones. En la Figura 5, se representa, idénticamente, la ecuación evolutiva del movimiento correspondiente al algoritmo EPSO. Nótese, más allá de la composición de los tres términos de velocidad referidos para establecer la dirección en la que debe moverse una partícula i-ésima, desde la iteración k a la k+1,  $P^{[k]}_i$ , cómo cambia la dirección del *óptimo global mutado*,  $\mathbf{b}^{[k]*}_G$ , y, por tanto, la dirección de movimiento de la partícula EPSO en la iteración k+1.

#### 4.5. Metaheurística AFS (Artificial Fish School)

Este algoritmo metaheurístico, referido en el estado del arte como *Artificial Fish Shool Algoritm* (AFSA) (Algoritmo de cardumen de peces artificiales), ha recibido, recientemente, gran atención por parte de la comunidad científica en el campo de la inteligencia computacional. Fue propuesto por Xiaolei Li en [9]. Se sustenta en dos tareas básicas: *primero*, construye un modelo simple de peces artificiales (AF) y *segundo*, implementa una estrategia de búsqueda del óptimo global, basada en el comportamiento que caracteriza la búsqueda de alimento de los individuos (AF) del grupo o cardumen.

El algoritmo intenta imitar el siguiente proceso bio-inspirado: en el agua, considerada como hábitat natural, cualquier pez puede localizar alimento siguiendo a otro pez, pues donde hay más concentración de alimento hay mayor cantidad de peces. Para emular este proceso se establecieron *comportamientos* que identifican al cardumen de peces artificiales, y se definieron algunas *variables* y *parámetros*. Se tipifican cinco *comportamientos* en el cardumen:

1) De ataque (Prey): El pez percibe la concentración de alimento en el agua, y escoge, por medio de su visión, como sentido general de percepción, el movimiento a seguir o tendencia; 2) Grupal (Swarm): De forma natural, en el movimiento del cardumen, cada pez integra este grupo, como un hábitat en el que supervive y es garantizada una mayor seguridad de no ser presa de otro pez, en general; 3) De seguimiento (Follow): En el movimiento del grupo de peces, cuando un pez individualmente, o un grupo de ellos, detecta alimento, la vecindad (sub-grupo próximo de peces) de los mismos, se alineará y seguirá su movimiento con el objeto de alcanzar rápidamente el alimento; 4) Registro (Bulletin Update): Este constituye un comportamiento bio-inspirado, asociado con el algoritmo. Se asemeja a la memoria autobiográfica que exhiben las partículas del PSO. La posición o estado de un pez artificial que ha alcanzado la máxima concentración de alimento, individualmente, es registrado en un boletín. Luego de cada acción o movimiento (iteración), el nuevo estado de cada pez artificial se compara con su registro en el boletín, el cual, si dicho estado tiene mayor mérito que el registrado, se actualiza por reemplazo; y 5) Evaluación del movimiento (Moving Evaluation): Los comportamientos Grupal y de Seguimiento tendrán lugar en el cardumen (es decir: sus respectivos procedimientos serán ejecutados en el algoritmo) *cuando exhiban*

Los resultados se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** metaheurísticas y su habilidad para satisfacer los principios de la inteligencia de grupo en espacios de búsqueda discretos y con buenas soluciones aisladas

MetaH	IG1	IG2	IG3	IG4	IG5
PSO	M	M	M	R	R
PSO D	B	R	M	R	R
PSO ÷	B	R	R	B	R
EPSO	B	B	R	B	B
AFS	B	M	M	B	M

*pertinencia*, efecto que será observable en el algoritmo, al describir sus respectivos procedimientos. En tal caso, el comportamiento del cardumen seleccionado entre ambos, será aquel que conduzca a la mayor *consistencia alimenticia (food consistence)*, representada por la posición de mayor aptitud. En caso contrario, no existe tal *pertinencia*, el comportamiento que tiene lugar (*pertinente*) es el De ataque.

El desarrollo del algoritmo, al igual que la X-PSO forma EPSO GIST y sus extensiones al dominio multiobjetivo, se presentarán en la segunda parte del presente trabajo, por integrar una estrategia de solución para el problema abordado de balance de cargas.

Cabe destacar que el espacio de búsqueda para esta clase de problemas de optimización en los sistemas de potencia, en los que cada objetivo que caracteriza al problema abordado es tratado en forma individual, y resuelto mediante las metaheurísticas presentadas (X-PSO formas y AFS), exhibe una característica singular. La misma estriba en presentar, en un campo discreto, pocas y buenas soluciones aisladas. Desde varias simulaciones realizadas por el autor, puede establecerse la relación entre la aplicación de cada metaheurística formulada, y su habilidad para satisfacer cada principio de la inteligencia de grupo (B = Buena, R = Regular y M = Mala).

## 5. TRABAJOS FUTUROS

Se definirán en la segunda parte del presente trabajo.

## 6. CONCLUSIONES

En esta primera parte del trabajo, se han realizado los despliegues teóricos y conceptos solidarios a las metaheurísticas monobjetivo tipo X-PSO y AFS y se incluye su habilidad para satisfacer los cinco principios IG, conforme la caracterización del espacio de soluciones que exhibe el problema de balance de cargas en un SDEE BT. Sobre el mismo, se han presentado dos enfoques de solución: BI y MIP, con sus limitaciones. Se justifica un enfoque alternativo, matheurístico, cuya aplicación, con la integración de tales metaheurísticas, planteadas multiobjetivo, con el enfoque MIP, se aborda en la segunda parte.

## REFERENCIAS

- [1] G. Schweickardt & V. Miranda. "Metaheurística FEPSO aplicada a problemas de Optimización Combinatoria: Balance de Fases en Sistemas de Distribución Eléctrica". *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología. Universidad Nacional de Entre Ríos*. Nro. 40, pp. 133-163. 2010.
- [2] J. Zhu, B. Griff & M. Chow. "Phase Balancing Using Mixed-Integer Programming". *IEEE Trans. Power Systems*. Vol. 13, nro. 4. 1998.
- [3] A. Díaz, F. Glover, H. Ghaziri & J. González. "Optimización Heurística y Redes Neuronales". Paraninfo. Madrid, España. 1996.
- [4] F. Glover. "Tabu Search: Part I". *In: ORSA Journal on Computing*. Vol. 1, pp. 190-206. 1989.
- [5] P. Black. "Dictionay Of Algorithms and Data Structures". National Institute of Standars and Technology. Available in: <http://www.nist.gov/index.html>. 2009.
- [6] I. Osman & J. Kelly. "Meta-Heuristics: Theory and Applications". Ed. Kluwer Academic. Boston, USA. 1996
- [7] G. Beni & J. Wang. "Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems". *Proceedings NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems*. June, Tuscan, Italy. 1989.
- [8] J. Kennedy & R. Eberhart. "Particle Swarm Optimization". *IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center, Piscataway, NJ. Perth, Australia. 1995.
- [9] X. LI, Z. Shao & J. Qian. "An Optimizing Method Based on Autonomous Animats: Fish-Swarm Algorithm (in Chinese)". *Systems Engineering Theory and Practice*. Vol. 22(11), pp. 32-38. 2002.

# CARACTERIZACIÓN DE FORMATOS DE ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y VISUALIZACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS

## CHARACTERIZATION OF STORAGE, TRANSPORT AND VISUALIZATION OF GEOGRAPHIC DATA FORMATS

**Darío Enrique Soto-Durán, PhD. (C)**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
dsoto@tdea.edu.co*

**María Isabel Marín-Morales, MSc.**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
mariaimarinm@gmail.com*

**Fabio Alberto Vargas-Agudelo, MSc.**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
fvargas@tdea.edu.co*

(Recibido el 07-04-2014. Aprobado el 10-05-2014)

**Resumen.** La información geográfica se caracteriza por tener una componente espacial y, en muchas ocasiones, adicionalmente una componente temporal. En la última década el uso de esta información se incrementó por la expansión de las tecnologías que la capturan. En especial, las ciencias de la tierra, el océano y la atmósfera requieren del análisis de la información que varía en el espacio y en el tiempo para tomar decisiones. Los datos espacio-temporales son gestionados por Sistemas de Información Geográfica (SIG) que definen formatos para su almacenamiento, transporte y visualización. El Open Geospatial Consortium es una de las principales organizaciones que definen estándares para estos formatos; sin embargo, existen otros también ampliamente usados. Conocer los diferentes formatos existentes, los elementos que los componen y los ambientes y situaciones para los que fueron creados es de suma trascendencia cuando se ha de decidirse por uno u otro en favor de la eficiencia y optimización de su uso en los SIG. Por lo anterior, este artículo hace una caracterización de los formatos más relevantes para el almacenamiento, transporte y visualización de los datos geográficos: vector, raster y series de datos, mediante esquemas preconceptuales que permiten identificar las relaciones estructurales y dinámicas de cualquier dominio del conocimiento.

**Palabras clave:** Esquemas preconceptuales; Formato raster; Formato vectorial; Series temporales de datos; Sistema de Información Geográfica.

**Abstract.** Geographic information is characterized by a spatial component and often an additional temporal component. In the last decade the use of that information has increased due to the expansion of technologies that capture it. In particular, earth, ocean and atmosphere sciences, requires analysis of the information that varies in space and time to make decisions. The spatio-temporal data are managed by Geographic Information Systems (GIS) that define formats for storage, transport and display them. The Open Geospatial Consortium is one of the leading organizations define standards for these formats, but there are also other widely used. Know the different formats available, the component elements and environments and situations for which they were created is of great importance when deciding on one or the other for efficiency and optimization of its use in GIS. Therefore, this article gives a characterization of the relevant formats for storage, transport and display of geographic data: vector, raster and data sets, using pre-conceptual schemes that allow identifying the structural and dynamic relations in any domain of knowledge.

**Keywords:** Pre-conceptual schemes; Raster data model; Vector data model; Time series; Geographic Information System.



## 1. INTRODUCCIÓN

Existe gran variedad de mecanismos para la adquisición de datos geográficos. Los sistemas digitales de obtención de datos, los sistemas de posicionamiento global, los sensores remotos y la simulación computacional son algunos ejemplos de ello. La información recopilada y su disposición a través de servidores, como es el caso de la familia de satélites *LanSat*, facilitan y masifican el uso de los datos geográficos en el proceso de toma de decisiones en empresas y corporaciones de diversos dominios del conocimiento [1].

Los datos geográficos son, por definición, información que varía en el espacio terrestre, es decir, que tienen asociada una coordenada geográfica que determina el lugar preciso que el dato representa en términos de elevación, temperatura, velocidad del viento, etc. A su vez, esta información suele registrarse en el tiempo con cierta regularidad. En algunas ocasiones se realiza con una resolución temporal definida y en otras se lleva a cabo eventualmente [2].

Las ciencias de la Tierra constituyen una herramienta para planificar una explotación racional de los recursos naturales, comprender las causas que originan los fenómenos naturales que afectan al ser humano y cómo el ser humano influye en la naturaleza con sus acciones. Por otro lado, son el medio para entender procesos naturales que amenazan la vida del hombre y su estudio está ligado con la prevención de riesgos sísmicos, meteorológicos y volcánicos en los ámbitos continental, oceánico y atmosférico. Lo anterior se logra mediante el estudio de los fenómenos, tanto en términos de su ubicación espacial como en su variación con el paso del tiempo. Las disciplinas de las ciencias de la Tierra requieren del análisis de datos espacio-temporales para llevar a cabo la toma de decisiones [3].

Los datos espacio-temporales se gestionan principalmente con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un SIG puede reconocer y analizar las relaciones espaciales que existen en la información geográfica almacenada. Estas relaciones topológicas permiten crear modelos y análisis espaciales complejos. Adicionalmente, un SIG puede estar destinado al análisis de rutas, geo-estadística, álgebra de mapas, entre otros, con el uso de datos espacio-temporales [2].

La lectura, escritura, transporte y visualización de los datos espacio-temporales requieren de formatos que facilitan este proceso. La mayoría de los SIG soportan una amplia gama de formatos, algunos de estos son ESRI Shapefile, ESRI Raster y NetCDF. El *Open Geospatial Consortium* (OGC) es una de las principales organizaciones que definen estándares para estos formatos. *Geographic Markup Language* (GML), *Keyhole Markup Language* (KML) que se usan para el despliegue de datos en dos y tres dimensiones, respectivamente [4].

El amplio abanico de formatos existentes para la gestión de los datos espacio-temporales deja sobre la mesa la decisión de elegir uno. Para ello, es pertinente conocerlos para optimizar su uso en tiempos de ejecución, espacio de almacenamiento y capacidad de expresión, entre otros.

Si se parte de esta necesidad identificada es preciso analizar los diferentes formatos y que sea claro para los usuarios su composición estructural y su dinámica; la fortaleza de cada uno en términos de uso para transporte, almacenamiento o visualización; su principal aplicación, ya sea para web o SIG o si es ideal para gestionar formatos vector, raster o series de datos. Para responder a estas preguntas, este artículo presenta una caracterización de los formatos utilizados en la gestión de datos espacio-temporales en los SIG, específicamente en formatos de almacenamiento de modelos *raster*, *vector* y, adicionalmente, series de datos. La caracterización muestra los elementos de cada formato y las situaciones y ambientes que los potencializa, mediante esquemas preconceptuales (EP). Los EP permiten identificar las relaciones estructurales y dinámicas de cualquier ámbito o dominio del conocimiento [5].

El artículo está conformado de la siguiente manera: en la sección 1 se define el marco teórico que expone la definición de datos geográficos, específicamente los concernientes a los modelos *vector*, *raster* y series de datos, además, en esta sección se introducen los esquemas preconceptuales; en la sección 2 se presenta la caracterización de los formatos de almacenamiento de los datos espacio-temporales mediante esquemas preconceptuales; en la sección 3 se realiza una discusión sobre los formatos recomendados y se sintetiza; y en la sección 4 se hacen las conclusiones y el trabajo futuro.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Datos geográficos

La información geográfica (IG) posee una localización implícita (la población de un lugar censado, una referencia catastral, etc.) o explícita (coordenadas obtenidas a partir de datos capturados mediante GPS, etc.) respecto a la Tierra [2].

La información geográfica se gestiona en los SIG con los modelos de datos *raster* y *vector* y, eventualmente, con la asociación de estos modelos a series de datos.

El modelo de datos *raster* está diseñado para la gestión de la información continua en el espacio como elevación y precipitación. Este modelo se representa mediante una matriz de datos en la que cada celda corresponde a una región geográfica. El tamaño de las celdas se denomina resolución espacial y determina la precisión de la información almacenada en una capa de datos *raster*. Así, a medida que es mayor la resolución espacial, la precisión disminuye, pues el valor de cada celda debe ser representativo de un área mayor [6].

El modelo de datos *vector* gestiona la información discreta en el espacio como las calles, las casas, los ríos, etc. Representa los datos y se basa en tres primitivas geométricas: el punto, la línea y el polígono. Una capa de datos *vector* se denomina *shapfile* y cada uno de sus elementos se denominan *shapes* (por ejemplo el conjunto de casas del centro de Medellín es un *shapfile* y cada casa es un *shape*). La información asociada con cada *shape* se almacena en la fila de una tabla de atributos. Los campos de la tabla de atributos son definidos por el interesado (por ejemplo propietario, número telefónico, estrato, etc.) [6].

Los SIG incorporan series de datos asociadas con los objetos *vector* y *raster*. Generalmente, estas series corresponden a series de tiempo y a perfiles verticales de medición. En el primer caso, pueden contener información con una resolución temporal definida o eventual. Los perfiles verticales de medición son muestreos obtenidos en la columna de aire o de agua [7].

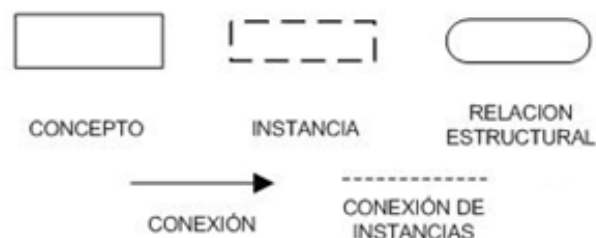


Figura 1. Algunos elementos del esquema preconceptual

Fuente: Compendio de los trabajos [5] y [8].

### 2.2. Esquemas preconceptuales

Los esquemas preconceptuales son representaciones intermedias entre las especificaciones textuales en lenguaje natural de cualquier dominio del conocimiento y los diferentes esquemas conceptuales que permiten el modelado de una pieza de software. Estos esquemas representan las relaciones estructurales y dinámicas del dominio [5]. En la Figura 1 se presentan los elementos de los esquemas preconceptuales que serán utilizados en este artículo, cuyos significados son los siguientes:

- Los conceptos representan los sustantivos del dominio.
- Las instancias son conjuntos de valores que pueden tomar un concepto y que sirven para aclararlo. Los valores que se presentan en las instancias no son necesariamente todos los posibles valores que puede tomar el concepto, algunos se excluyen.
- Las relaciones estructurales definen relaciones permanentes entre dos conceptos con el uso de los verbos “ser” y “tener”.
- Las conexiones son vínculos entre conceptos y relaciones estructurales o viceversa.
- Las conexiones de instancias permiten ligar un conjunto de instancias con el concepto del que son valores.

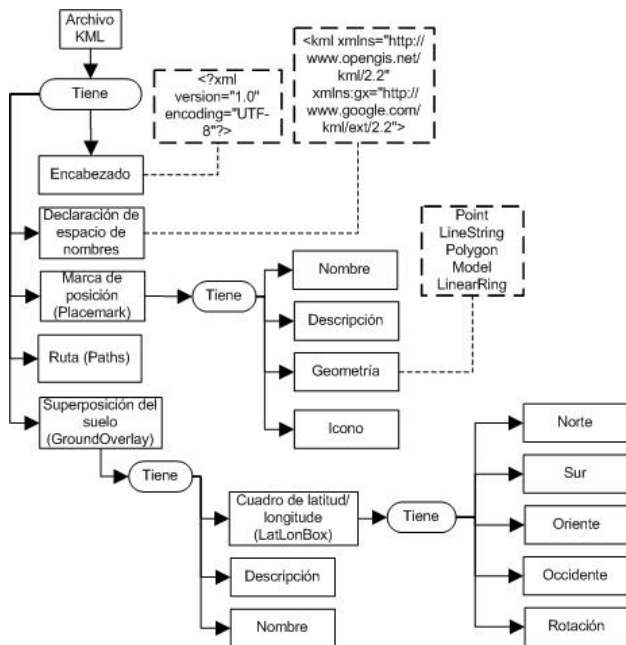


Figura 2. Resumen del formato KML mediante un esquema preconceptual.

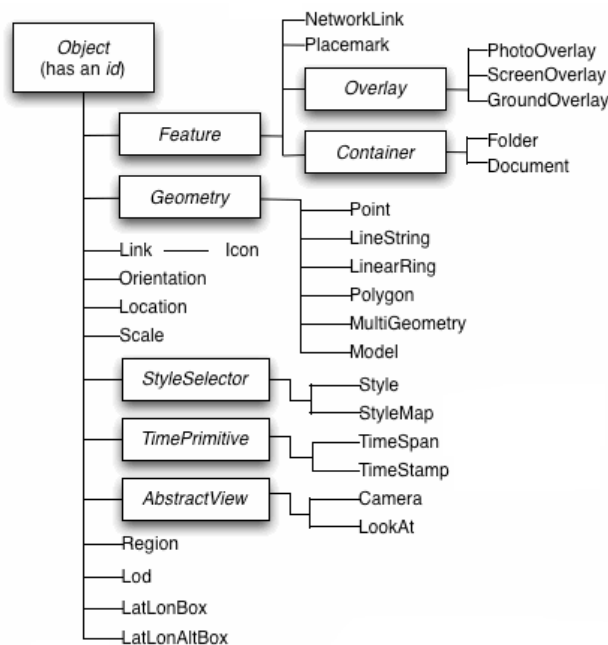


Figura 3. Árbol de clases del formato KML.

Fuente: tomado del KML Reference [10].

### 3. CARACTERIZACIÓN DE FORMATOS DE ALMACENAMIENTO

En la caracterización realizada se incluyeron los formatos de almacenamiento, transporte y visualización más relevantes en el dominio de los SIG, específicamente sobre los modelos de dato *vector* y *raster* y, adicionalmente, sobre la gestión de series de datos. La caracterización se llevó a cabo a través de la definición y descripción básica de cada formato y la síntesis de los elementos principales de cada uno mediante un esquema preconceptual para facilitar la comprensión.

#### 3.1. KML: Keyhole Markup Language

KML es un formato de archivo que se usa para mostrar información geográfica en globos terrestres como Google Earth y Google Maps. Utiliza una estructura de etiquetas con atributos y elementos anidados, que se basa en el estándar XML. Fue desarrollado por Google y hace parte del conjunto de estándares del OGC. Incluye las siguientes partes: 1) el encabezado XML, 2) la definición del espacio de nombres del KML y 3) el objeto de la indicación geográfica, que puede ser una marca de posición o una ruta [9].

En la Figura 2 se muestra una representación gráfica con esquemas preconceptuales de los elementos fundamentales del formato. Además, en la Figura 3 se observa el árbol de clases de varios elementos KML. Los elementos abstractos (que aparecen en cuadros en el diagrama) no se usan realmente en los archivos KML, son útiles para que un único elemento sirva como base para la programación de varios elementos similares derivados (aunque sean diferentes). Un archivo KML puede ser creado directamente en un editor de texto o a través de Google Earth. La primera opción permite enriquecer las funciones del formato; sin embargo, la segunda opción proporciona una interfaz gráfica que hace más fácil e intuitivo el proceso de crear y editar un archivo KML.

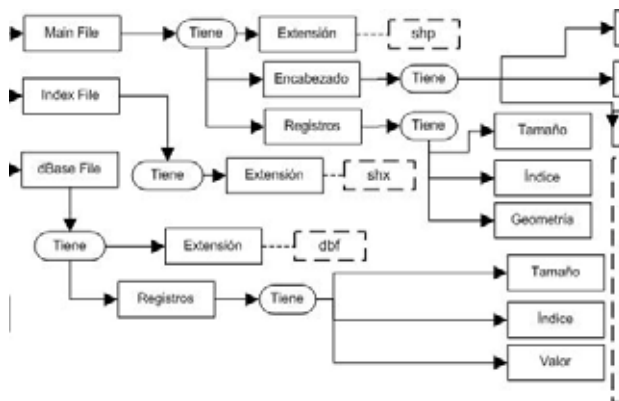


Figura 4. Resumen del formato ESRI Shapefile mediante un esquema preconceptual.

### 3.2. ESRI Shapefile

ESRI Shapefile es un formato estándar de facto desarrollado por el *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Almacena geometrías e información de atributos para las características espaciales. Es recomendado para mapas medianos y pequeños. Un *Shapefile* consiste de tres partes de datos: un archivo principal (.shp), un archivo de índices (.shx) y una tabla dBASE (.dbf). Los *shapefiles* soportan una gran variedad de tipos de geometría (por ejemplo *Point*, *Line*, etc.); sin embargo, en un mismo *shapefile* sólo pueden existir elementos de un mismo tipo. Los medios para crear un *shapefile* son: a) directamente sobre programas que los soporta como ArcGIS [11], MapWindow [12], entre otros; b) exportar a partir de otros formatos; c) digitalizar mapas con el uso de herramientas CAD; y d) desde las API proporcionadas por ArcInfo, MapWindow, entre otros [13]. En la Figura 4 se presenta la estructura general de un ESRI *Shapefile*.

### 3.3. ESRI Grid

Un ESRI Grid es un formato de archivo para el modelo de datos *raster* que cuenta con dos subformatos: 1) un formato binario propietario, también conocido como un ARC/INFO GRID, o ARC GRID en otros casos, y 2) un formato ASCII no propietario, también conocido como un ARC/INFO ASCII GRID. El formato binario es usado dentro de los programas ESRI como ArcGIS. Por otro lado, el formato ASCII es utilizado para el intercambio de datos por su estructura simple y portable. El *grid* define el espacio geográfico como un rectángulo de datos en una matriz de posiciones geográficas. El formato está estructurado así: las seis primeras líneas indican los metadatos

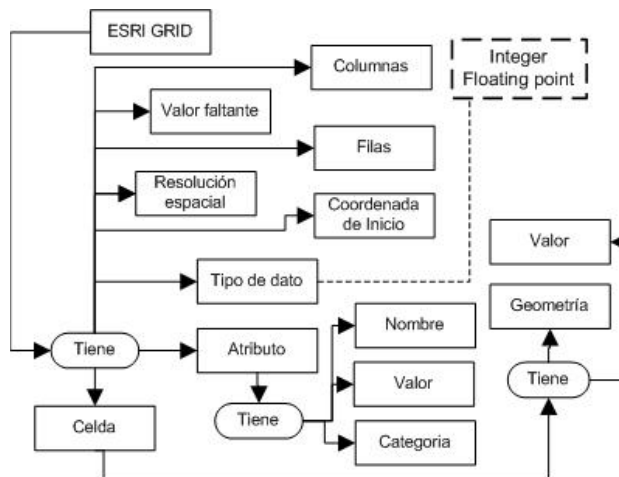


Figura 5. Resumen del formato ESRI Grid mediante un esquema preconceptual.

de los valores de la matriz seguidas por el conjunto de datos. Los metadatos indican el número de filas, columnas, la resolución espacial, el valor faltante y el punto de inicio de pintado del mapa. En la Figura 5 se resumen los conceptos del formato.

### 3.4. GML: Geography Markup Language

GML es una gramática XML definida por el OGC para expresar características geográficas. Sirve como un lenguaje de modelado para sistemas geográficos así como un formato de intercambio para transacciones geográficas, especialmente en la red. Permite almacenar objetos vector, coberturas y datos de sensores remotos. Es posible definir restricciones lógicas para GML mediante perfiles. Los perfiles se especifican a través de documentos o esquemas XML y son un mecanismo para acotar el uso del formato.

Existen perfiles para los puntos, los polígonos, imágenes y otras características geográficas. GML es un formato de almacenamiento y transporte y para la visualización es necesario anexar un documento de estilo. Para esto se usa el W3C *Scalable Vector Graphics* (SVG), el *Microsoft Vector Markup Language* (VML) y formatos de almacenamiento de imágenes como png, gif, jpeg y pdf [14]. En la Figura 6 se presenta un resumen de los elementos más relevantes de la especificación del GML dada en el estándar.

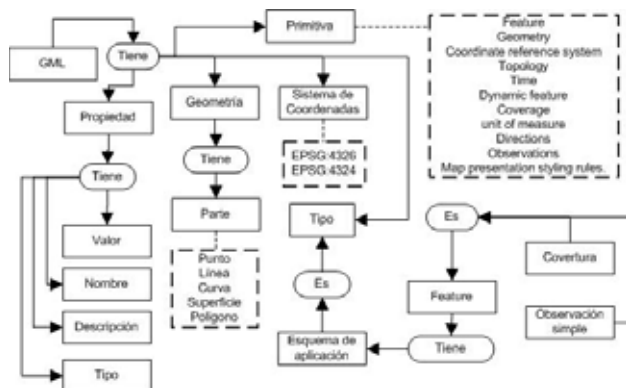


Figura 6. Resumen de la especificación GML mediante un esquema preconceptual.

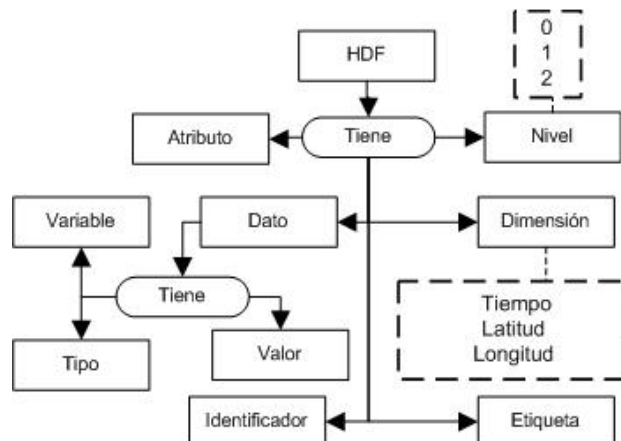


Figura 8. Formato de almacenamiento y transporte HDF.

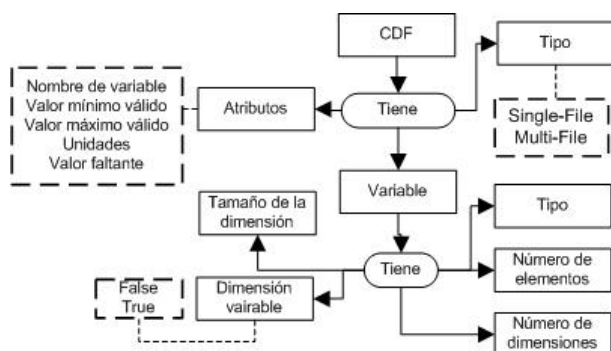


Figura 7. Formato de almacenamiento y transporte CDF.

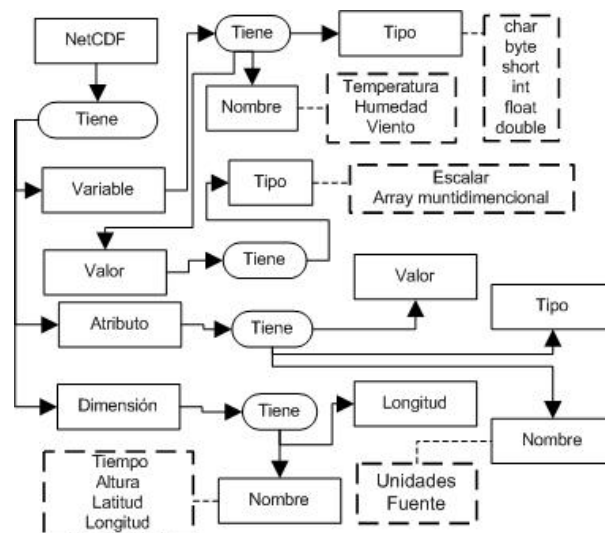


Figura 9. Formato de almacenamiento y transporte NetCDF.

### 3.5. CDF, HDF, NETCDF

Los formatos CDF (*Common Data Format*), HDF (*Hierarchical Data Format*) y NetCDF (*Network Common Data Form*) son formatos científicos para el almacenamiento, transporte y procesamiento de datos multidimensionales independientes del dominio. Son desarrollados y mantenidos por la NASA, la *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA) de la *University of Illinois* y la *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), respectivamente.

Por tratarse de formatos binarios, su gestión está dada a través de las librerías que se crean para cada uno. En el caso de CDF, cuenta con implementaciones en C, Fortran, Java, Perl y C#; HDF en Java, Matlab, IDL y Python; y NetCDF en Java, Python y Matlab. Estos formatos son auto descriptivos porque tienen la capacidad para almacenar metadatos y atributos de los datos. HDF cuenta con las versiones HDF, HDF4 y HDF5. Por otro lado, NetCDF está basado en los modelos de datos CDF y HDF [15]. En la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9 se presenta un resumen de los tres modelos de datos, respectivamente.

**Tabla 1.** Resumen de los formatos revisados (parte 1)

Formato	Autor	Uso recomendado
KML	Google Ink	Modelos <i>vector</i> en la web.
ESRI Shapefile	ESRI	Modelos <i>vector</i> en SIG de escritorio.
ESRI Grid	ESRI	Modelos <i>raster</i> en SIG de escritorio.
GML	OGC	Modelos <i>raster</i> y <i>vector</i> en la web.
NetCDF	UCAR	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.
CDF	NASA	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.
HDF	NCSA	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.

**Tabla 2.** Resumen de los formatos revisados (parte 2)

Formato	Algunos programas que lo soportan	Tipo de formato
KML	Google Earth, Google Maps, Microsoft Virtual Earth	Transporte y visualización.
ESRI Shapefile	ArcInfo, MapWindow, GvSIG, GeoDA	Almacenamiento, transporte y visualización.
ESRI Grid	ArcInfo, MapWindow, GvSIG	Almacenamiento, transporte y visualización.
GML	ArcInfo, Servicios Web WFS	Almacenamiento y transporte.
NetCDF	ArcInfo, Servicios Web OPeNDAP, Java, Python y Matlab.	Almacenamiento y transporte.
CDF	Servicios Web OPeNDAP, C, Fortran, Java, Perl y C#.	Almacenamiento y transporte.
HDF	Servicios Web OPeNDAP, Java, MATLAB, IDL y Python.	Almacenamiento y transporte.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN REALIZADA

Los formatos de transporte, almacenamiento y visualización de datos geográficos revisados se pueden reunir en tres grupos: a) para la gestión de modelos vector, b) para la gestión de modelos raster y c) para la gestión de series de datos.

KML y ESRI *Shapefile* son formatos recomendados exclusivamente para el primer grupo, aunque KML es mejor para el trabajo en red y ESRI *Shapefile* en SIG de escritorio. ESRI Grid está orientado básicamente para el trabajo con datos continuos en el espacio sobre modelos *raster*; sin embargo, en algunos casos y sobre algunos SIG que soportan la funcionalidad (por ejemplo ArcGIS) podrían usarse para representar información discreta (con el uso de número enteros). GML se presenta como una opción tanto para los modelos *vector* como para los *raster* en la web y, específicamente, a través de servicios web OGC como es el caso del WFS (*Web Feature Service*) [4]. Una de las ventajas de GML es que permite incluir el sistema de coordenadas en el mismo archivo, mientras que los otros formatos requieren de archivos auxiliares.

Por otro lado, los formatos CDF, HDF y NetCDF están pensados para almacenar y transportar paralelepípedos de datos que contienen múltiples dimensiones, incluidos el tiempo y las coordenadas

espaciales. De esta manera un corte transversal sobre los datos permite obtener un modelo *raster*, mientras que un corte longitudinal logra series de datos. La mayor fortaleza de estos tres formatos es la posibilidad de describir la información que contienen en términos de unidades de medida, fuente de obtención y todos los metadatos o atributos que el usuario requiera almacenar. Esto hace que los datos almacenados en CDF, HDF y NetCDF sean fáciles de interpretar. Además, estos formatos actualmente son utilizados a través de servicios OPeNDAP [16]; sin embargo, también cuentan con un amplio conjunto de librerías que facilitan su gestión. En la Tabla 1 y la Tabla 2 se presenta un resumen con algunos elementos adicionales de los formatos revisados.

Entre las características comunes de estos formatos se puede considerar la visualización o *renderizado* ya que este procedimiento se hace desde la aplicación cliente que soporta el formato del dato. Para ilustrar estas similitudes, desde la Figura 11 hasta la Figura 17 se muestran diferentes salidas de visualización de los formatos explorados.



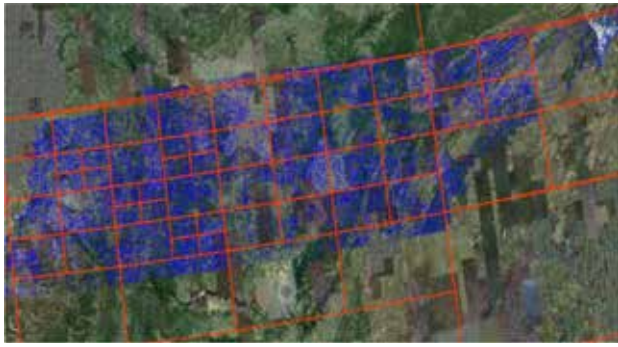


Figura 10. Despliegue y visualización a partir de un formato KML. Tomado de [17].

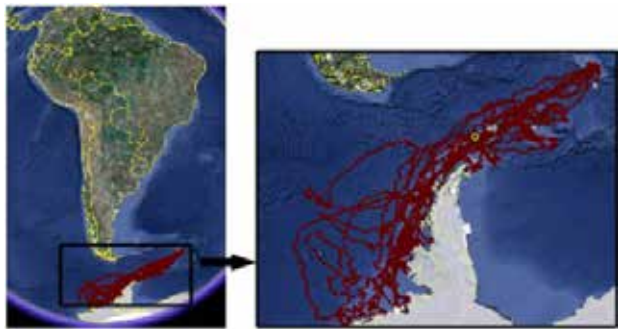


Figura 11. Despliegue y visualización a partir de un formato KML. Tomado de [18].



Figura 12. Despliegue y visualización a partir de un formato ESRI Shapefile. Tomado de [19].



Figura 13. Despliegue y visualización a partir de un formato ESRI Raster. Tomado de [20].



Figura 14. Despliegue y visualización a partir de un formato GML. Tomado de [21].

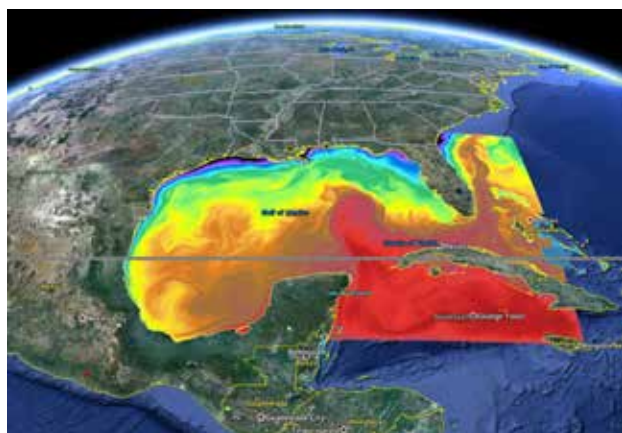


Figura 15. Despliegue y visualización a partir de un formato NetCDF. Tomado de [22].

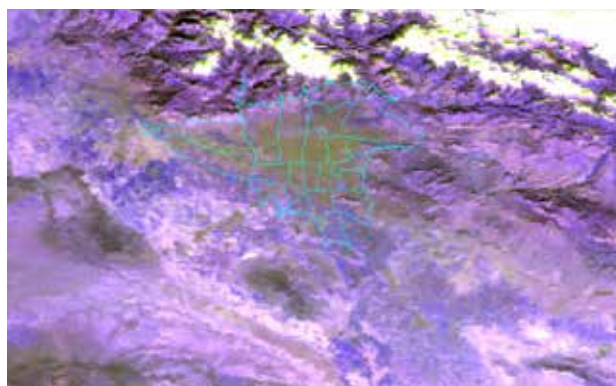


Figura 17. Despliegue y visualización a partir de un formato CDF. Tomado de [24].

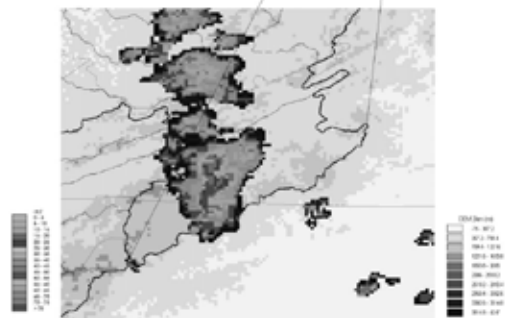
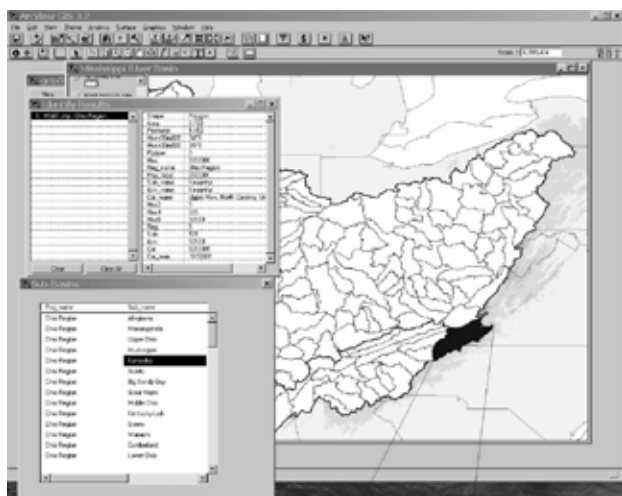


Figura 16. Despliegue y visualización a partir de un formato HDF. Tomado de [23].

Tabla 3. Convenciones de herramientas que soportan los formatos explorados.

Convención	Herramienta
1	ArcGIS
2	MapWindow GIS
3	Google Earth
4	Google Maps
5	GRASS
6	gvSIG
7	Quantum GIS
8	SAGA GIS

Tabla 4. Herramientas que soportan los formatos explorados, parte 1.

Formato	1	2	3	4	5	6	7	8
KML	X	X	X	X	X	X	X	X
ESRI Shapefile	X	X	X	X	X	X	X	X
ESRI Grid	X	X			X		X	
GML	X		X	X	X	X	X	
NetCDF	X				X	X	X	X
CDF	X				X		X	
HDF	X				X		X	

I. Los formatos de almacenamiento, transporte y visualización presentados se encuentran soportados por diversos sistemas de información geográfica y globos virtuales, lo que posibilita su uso e interoperabilidad. En la Tabla 4 se presenta un resumen de diversas herramientas que permiten la visualización de los formatos explorados con base en las convenciones de la Tabla 3. Este resumen no se presenta con gran profundidad ya que se plantea precisamente como trabajo futuro a la exploración de los formatos mencionados. Aun así es posible inferir que formatos como KML y Shapefile son los más masificados y que herramientas como ArcGIS, Grass y Quantum GIS son los que dan mayor cobertura en términos de soporte de formatos de almacenamiento, transporte y visualización.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se presentó una caracterización de los formatos de almacenamiento, transporte y visualización de los datos geográficos más relevantes encontrados en la literatura. Fue posible determinar los formatos para la gestión de los modelos de datos *vector*, *raster* y las series de datos; y los recomendados para el uso en la web y aplicaciones de escritorio, respectivamente. Conocer esta información es de gran utilidad en el momento de decidirse por un formato u otro; sin embargo, tradicionalmente ésta es una tarea que conlleva tiempo y que puede llevar a la toma de una mala elección. Este trabajo ayuda a clarificar las características de los formatos estudiados para hacer una correcta elección y potenciar las capacidades y bondades de cada formato.

A partir de este trabajo se pueden derivar otros, tales como:

- Evaluar la viabilidad de la gestión de estos formatos a través de sistemas de gestión de bases de datos.
- Desarrollar modelos relacionales u objetos-relacionales que permitan almacenar los datos gestionados por estos formatos.
- Evaluar la incorporación de estos formatos en los Sistemas de Información Geográfica.
- Evaluar la integración entre los formatos *vector* y *raster* con las series de datos, teniendo en cuenta que los primeros tienen una representación gráfica directa en los SIG.

## REFERENCIAS

- [1]. Rozenstein, O. & Karnieli, A. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, 31(2), pp. 533-544, 2011
- [2]. Goodchild, M.F. Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1 (1), pp. 1037-1043, 2001.
- [3]. Nihoul, C.J. Modelling marine ecosystems as a discipline in Earth Science. *Earth-Science Reviews*, 44(1-2), pp. 1-13, 1998
- [4]. Rao, A., Percivall, G.S. & Enloe, Y. Overview of the OGC catalog interface specification. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. Igarss 2000. IEEE 2000 International*, 3, pp. 1211-1213, 2000
- [5]. Zapata, C.M., Gelbukh, A. & Arango, F., Pre-conceptual Schema: A Conceptual-Graph-Like Knowledge Representation for Requirements Elicitation. *Lecture Notes in Computer Science*, 4293, pp. 17-27, 2006
- [6]. Bolstad, P. *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems*. White Bear Lake, MN: Eider Press, 2005.
- [7]. Hung, L.Q. & Batelaan, O. Environmental geological remote sensing and GIS analysis of tropical karst areas in Vietnam. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, 4, pp. 2964-2966.
- [8]. Zapata, C.M., Tamayo, P. & Arango, F. Conversión de Esquemas Preconceptuales a Diagramas de Casos de Uso en AToM3. *Dyna*, 53, pp. 237-251, 2007.
- [9]. Ballagh, L.M. & otros. Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges. *Computers & Geosciences*, 37 (1), pp. 57-64, 2011
- [10]. KML Reference. *Keyhole Markup Language*. Google's KML Documentation. Recuperado: Mayo 2011: <http://code.google.com/apis/kml/documentation/kmlreference.html>
- [11]. Smirnoff, A., Paradis, S.J. & Boivin, R. Generalizing surficial geological maps for scale change: ArcGIS tools vs. cellular automata model. *Computers & Geosciences*, 34 (11), pp. 1550-1568, 2008
- [12]. Aburizaiza, A.O. & Ames, D.P. (2008). GIS-Enabled Desktop Software Development Paradigms. *Advanced Geographic Information Systems & Web Services, 2009. GEOWS '09. International Conference*, pp. 75-79, 2009.



- [13].Xia, K. & Wei, C. Study on Real-Time Navigation Data Model Based on ESRI Shapefile. *Embedded Software and Systems Symposia, 2008. ICESs Symposia '08. International Conference on*. pp. 174-178, 2008
- [14].Lake, R. The application of geography markup language (GML) to the geological sciences. *Computers & Geosciences, 31(9)*, pp. 1081-1094, 2009.
- [15].Manduchi, G. Commonalities and differences between MDSplus and HDF5 data systems. *Fusion, Engineering and Design, 85 (3-4)*, pp. 583-590, 2010
- [16].McDonald, K. & otros. A Gateway to Support Interoperability of OPeNDAP and OGC Protocols. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on*, pp. 301-304, 2006
- [17].Ferreira, K.R., Vinhas, L., Monteiro, AM.V. & Camara, G. IEEE 28th International Conference on Moving Objects and KML Files. *Data Engineering Workshops (ICDEW)*, pp. 355-359, 2012
- [18].Dadi, U., Cheng, L. & Vatsavai, R.R. Query and Visualization of extremely large network datasets over the web using Quadtree based KML Regional Network Links , 17th International Conference on Geoinformatics, pp. 1-4, 2009
- [19].Kai, X. & Chao, W. Study on Real-Time Navigation Data Model Based on ESRI Shapefile. *ICESs Symposia '08. International Conference on Embedded Software and Systems*, pp. 174-178, 2008
- [20].Bearman, N. & Fisher, P. Using sound to represent spatial data in ArcGIS. *Computers & Geosciences, 46*, pp. 157-163, 2008
- [21].Xuezheng, S., Guoxiang, Y., Dongsheng, Y., Shengxiang, X., Warner, E., Petersen, G., Sun, W., Zhao, X., Easterling, W.E. & Wang, H. A WebGIS system for relating genetic soil classification of China to soil taxonomy. *Computers & Geosciences, 36 (6)*, pp. 768-775, 2012
- [22].Zavala, O., Ahmed, A., Chassignet, E.P., Zavala, J., Fernández, A. & Meyer, A. An open source Java web application to build self-contained web GIS sites. *Environmental Modelling & Software, 62*, pp. 210-220, 2013
- [23].Nelson, B.R., Krajewski, W.F., Kruger, A., Smith, J.A. & Baeck, M.L. Archival precipitation data set for the Mississippi River Basin: development of a GIS-based data browser. *Computers & Geosciences, 29(5)*, pp. 595-604, 2013.
- [24].Sohrabinia, M. & Khorshiddoust, A.M. Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran. *Habitat International, 31(2)*, pp. 268-275, 2012

## CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR CERÁMICO TRADICIONAL DEL VALLE DE ABURRÁ Y LOS RIESGOS PROFESIONALES LATENTES EN SU PROCESO PRODUCTIVO

### CHARACTERIZATION OF TRADITIONAL CERAMIC SECTOR IN ABURRÁ VALLEY AND PROFESSIONAL RISK LATENT IN THEIR PRODUCTION PROCESS

**Gian Paolo Montoya-Rivas, MSc.**

*Grupo de Calidad y Producción  
Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM  
Medellín, Colombia  
gianmontoya@itm.edu.co*

**Renata Montoya-Rivas, MSc**

*Grupo de Calidad y Producción  
Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM  
Medellín, Colombia  
renatamontoya@itm.edu.co*

**Julián Botero-Giraldo, MSc**

*Grupo de Calidad y Producción  
Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM  
Medellín, Colombia  
julianbotero@itm.edu.co*

(Recibido el 11-04-2014. Aprobado el 11-06-2014)

**Resumen.** El presente estudio busca caracterizar y diagnosticar los peligros y riesgos en las empresas del sector cerámico tradicional del Valle de Aburrá. En primera instancia, se caracteriza el sector cerámico a partir de la revisión bibliográfica, nacional y regional, para, finalmente, realizar un diagnóstico de los factores de riesgos profesionales en este sector, mediante encuestas a gerentes y líderes de las áreas, encargados de velar por la productividad de la empresa y por la gestión de los riesgos. Dentro de los principales hallazgos se encuentran las debilidades de las organizaciones para identificar y valorar los riesgos profesionales latentes.

**Palabras clave:** Riesgos profesionales; Sector cerámico tradicional; Caracterización; Peligros ocupacionales.

**Abstract.** This study seeks to characterize and diagnose the hazards and risks in companies belonging to the traditional ceramic industry in Valle de Aburrá. First the ceramic industry is characterized from literature review national and regional level, and finally a diagnosis of occupational risk factors occur in the sector through surveys of managers and / or leaders areas, therefore responsible for ensuring the productivity of the company as the risk management, with the main findings weaknesses presented by organizations to identify and assess the latent occupational hazards.

**Keywords:** Occupational hazards; Traditional ceramic industry; Characterization; Occupational hazards.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector cerámico en el Valle de Aburrá de Medellín está compuesto por tres grandes grupos; la cadena de proveedores, la cadena productiva y la cadena logística de distribución. Este sector recobra importancia en Colombia por las políticas nacionales propuestas en el Plan de Desarrollo Nacional 2010-2014 “Prosperidad para todos”, en el que está definido como una locomotora de crecimiento económico [1]. Por otro lado, es preciso resaltar que en las empresas del sector no se cuenta con una caracterización de los riesgos y peligros latentes que afectan la integridad de las personas y la productividad de las empresas, lo que impide que se tomen acciones para mitigar dichos eventos. Hasta el momento no se han encontrado estudios que apunten a esta problemática del sector cerámico tradicional ubicado en el Valle de Aburrá y, por lo tanto, este estudio se considera como fuente de consulta para futuras investigaciones.

Es menester conocer las características principales de este sector y el entorno de las empresas colombianas que no se limitan al ámbito regional o nacional sino, por el contrario, vive en un mercado globalizado y en constante cambio por los recientes tratados de libre comercio que ha firmado el Estado colombiano con diferentes países, tales como Estados Unidos, Canadá, la reciente alianza del Pacífico con Chile, Perú y México y que han presentado impactos positivos para la industria en diferentes aspectos como el acceso sin arancel a Estados Unidos, generación de la estabilidad jurídica para inversionistas, el incremento económico y el crecimiento del volumen de comercio internacional [2]. Esto obliga a las empresas colombianas a ser competitivas en el medio para no desaparecer en un futuro no muy lejano [3].

Esta competitividad no sólo depende de los procesos productivos y la capacidad de producción que logre la empresa, sino de que cuando el ser humano ha satisfecho sus necesidades fisiológicas debe velar por su seguridad [4].

Con esta investigación se busca caracterizar el sector cerámico del Valle de Aburrá con una clasificación de las empresas que conforman el sector e identificar los riesgos latentes que se presentan en la industria, teniendo en cuenta los riesgos contemplados por la legislación colombiana.

## 2. METODOLOGÍA

El problema de investigación está enmarcado en el estudio del sector cerámico tradicional ubicado en el Valle de Aburrá, que se divide en productos basados en arcilla y refractarios, entre los que se encuentran productos como: baldosas, ladrillos y tejas, porcelana de mesa, porcelana sanitaria y artística, compuestos por tres tipos básicos de elementos: arcilla, sílice y feldespato.

El presente estudio está conformado por cuatro etapas: el estudio económico del sector, el diseño de un instrumento para obtener información del sector, la aplicación del instrumento a las empresas y, finalmente, un análisis de los resultados hallados. Para el estudio económico del sector se realizó una contextualización y una revisión bibliográfica. Éste corresponde a un estudio de la literatura y trabajos previos relacionados con el sector y la gestión de los riesgos. La revisión bibliográfica fue una actividad permanente durante la investigación.

Finalmente, se compilan y se analizan los datos obtenidos en las encuestas para concluir sobre los riesgos existentes en el sector cerámico tradicional en el Valle de Aburrá. Se pretende que el estudio sea generalizado y replicado en otros sectores del ámbito industrial puesto que los riesgos son similares en el sector y los contempla la legislación colombiana y no pueden ser desconocidos por las organizaciones.

### 2.1. Caracterización económica del sector

El mercado de los cerámicos se encuentra ubicado dentro del sector minero como la rama de los minerales no metálicos [5]. Los productos de esta cadena hacen parte del sector productor de minerales no metálicos, al igual que los productos de vidrio y de cemento, y se encuentran agrupados, según el DANE (Departamento Administrativo de Estadística), en el sector CIIU1 361 [6]. La cadena de la cerámica, tal como la analiza este documento, incluye los productos resultantes de la fabricación industrial de artículos de barro, loza y porcelana. Según el Ministerio de Minas y Energía, el sector ha registrado incrementos progresivos evidenciados en indicadores como el Producto Interno Bruto (PIB) minero, las exportaciones de minerales y la inversión extranjera directa en minería, entre otros indicadores [5].

Como se muestra a continuación, en las tablas 1 y 2, el sector ha contribuido en un rango entre 4.77% y 5.62% al PIB entre los años 2002 y 2009.

**Tabla 1.** PIB correspondiente a minas e hidrocarburos. Adaptado de [5].

AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
PIB minas e hidrocarburos	11,5	11,6	11,5	11,7	12,1	12,4	13,3	14,9
PIB minas sin hidrocarburos	2,72	3,39	3,45	3,72	3,94	4,16	4,22	4,5
PIB total	205	215	225,	238	254	273	280	281

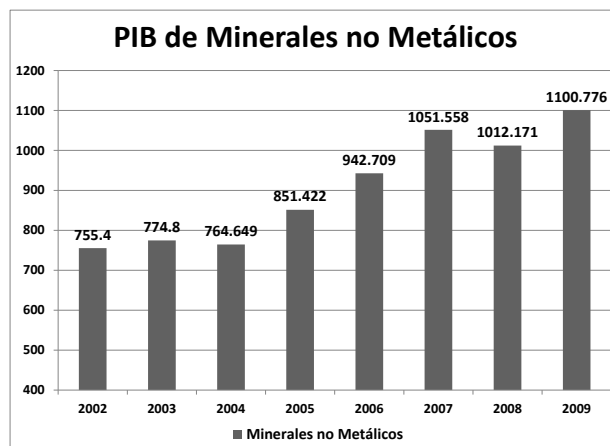
**Tabla 2.** Participación del sector de minas e hidrocarburos al PIB en porcentaje. Adaptado de [5].

PIB \ Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Minas e hidrocarburos	5,6%	5,4%	5,1%	4,9%	4,8%	4,6%	4,8%	5,3%
Minas sin hidrocarburos	1,3%	1,6%	1,5%	1,6%	1,6%	1,5%	1,5%	1,6%

Por otro lado, la participación que ha tenido el sector sin tener en cuenta los hidrocarburos oscila entre 1.32% y el 1.50%, es decir, se presenta una aceleración de esta rama.

El crecimiento del PIB estuvo enmarcado por varios factores, según la Comisión económica para América Latina y el Caribe (Cepal) el consumo de los hogares fue uno de los principales motores del crecimiento, el aumento de la inversión extranjera, gracias a políticas de seguridad nacional, la disminución del conflicto colombiano y, finalmente, la adopción de políticas contra cíclicas para estimular la reactivación económica, mediante medidas cambiarias, tributarias y sectoriales [7].

De igual manera, el comportamiento del PIB de la rama de los minerales no metálicos ha ido en aumento durante los últimos cinco años, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** PIB de minerales no metálicos en millones de pesos. Adaptado de [8].

El incremento en el valor agregado de los minerales no metálicos obedeció al crecimiento en la producción de rocas y materiales utilizados en la construcción en 6,3%, de los minerales para usos industriales en 9,1%. De igual manera, entre 2002 y 2009 se ha visto un auge en la minería colombiana y se ha incrementado en un 274% el número de títulos mineros otorgados en el periodo, con un promedio de aumento anual del 10,2%, de acuerdo con los títulos inscritos en el Registro Minero Nacional [5].

## 2.2. Caracterización del sector regional

El sector cerámico en Colombia está altamente concentrado; más del 80% de la producción pertenece a cuatro empresas: ColCerámica S.A. (Grupo Corona), Cerámica Italia (10% del mercado de pisos en el país), Alfagrés S.A. (nacional) y Eurocerámica (nacional). Colceramica está ubicada en el Valle de Aburrá [9].

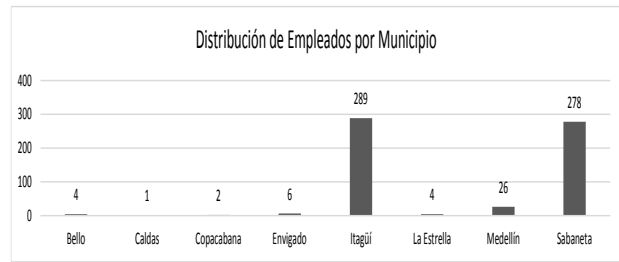
Según [10], en el Vallé de Aburrá se encuentran legalmente constituidas 34 empresas del sector cerámico tradicional, como se presenta en la Tabla 3. Empresas que tienen como base la producción o transformación del mineral cerámico e Itagüí es el municipio que registra el mayor número de empresas (13), seguido por Medellín (12). Estos dos municipios representan el 73.53% de la distribución empresarial en la subregión.

**Tabla 3.** Distribución de empresas por municipio en el Valle de Aburrá. Elaboración propia.

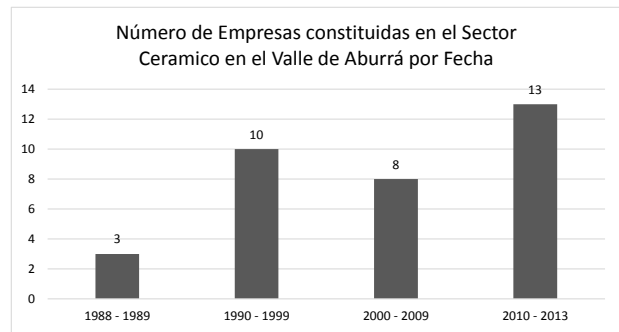
Municipio	Bello	Caldas	Copacabana	Envigado	Itagüí	La Estrella	Medellín	Sabaneta
Número de empresas	3	2	1	1	13	1	12	1

A pesar de que el sector cerámico cuenta con un significativo número de empresas en el Valle de Aburrá, éste no se ve reflejado en el número de personas contratadas, como se aprecia en la Figura 2. De acuerdo con la Cámara de comercio estas empresas suman un total de 610 empleados y el municipio que más empleados tiene es Itagüí con un total de 289, lo que representa un 47.37%, con un promedio de 22.23 personas ocupadas, seguido por el municipio de Sabaneta que, con sólo una empresa cuenta con 278 empleados, equivalentes a un 45.57%, en contraste con el municipio de Medellín que, para las 12 empresas que tiene distribuidas en su localidad, el número del personal asciende a 26, lo que representa un 0.98% de participación, con un promedio de 2.16 personas por empresa. Las 17 personas restantes están distribuidas de la siguiente manera: Bello con 4, Caldas con 1, Copacabana con 2, Envigado con 6 y La Estrella con 4.

El sector cerámico no es nuevo en Colombia, por el contrario, es un sector tradicional, en especial para el departamento de Antioquia, en el que existe un amplio portafolio de empresa con trayectoria y experiencia y su principal empresa es Electro Porcelana Gamma S.A. (Corona), que tuvo sus orígenes en el municipio de Caldas en la década de los 80 y se posicionó como empresa líder del mercado para los colombianos; por otro lado, en la última década se ha incrementado de manera notoria la constitución de empresas dedicadas a la producción o transformación del mineral cerámico que ha pasado de 13 empresas en 1999 a 34 en 2013, lo que indica un aumento del 161.53%, que se hace evidente por la confianza inversionista de los últimos años. Ver Figura 3.



**Figura 2.** Distribución de empleados por municipio en el Valle de Aburrá. Elaboración propia.



**Figura 3.** Número de empresas constituidas por fecha del sector cerámico en el Valle de Aburrá. Elaboración propia.

### 2.3. Caracterización de la cadena de suministros

Antes de describir la cadena de suministros del sector cerámico, es necesario describir qué es y en qué consiste una cadena logística o cadena de suministros.

Autores como [11] define la cadena de suministros como un conjunto de actividades funcionales (transporte y control de inventarios) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor. Otros autores como [12] la definen como la integración de las funciones principales del negocio desde el usuario final a través de proveedores originales que ofrecen productos, servicios e información que agrega valor para los clientes y otros interesados. De igual manera [13] la definen como sistema que abarca todas las actividades asociadas con el flujo y la transformación de productos desde la etapa de materias primas hasta el usuario final, así como los flujos de información asociados [14].

La cadena de abastecimiento inicia con la extracción de la materia prima que se encuentra principalmente en Norte de Santander y Cundinamarca, cada uno con 32 y 71 empresas dedicadas a la extracción de minas y canteras de productos como caolín, arcillas de uso industrial, arcillas comunes y arenas. Después son transportadas hasta el lugar de almacenamiento y su posterior uso. El sector de la cerámica incorpora mayor porcentaje de materias primas importadas, entre ellas, las resinas, los pigmentos y las lacas, que no se producen actualmente en el país.

Luego, las materias primas pasan por diferentes procesos productivos: cocción, moldeado, prensado, secado, decorado y esmaltado. De las industrias que fueron mencionadas en la caracterización regional son de la industrial, en su mayoría, del sector tradicional, es decir, productos como porcelana sanitaria, lojería y porcelana industrial (eléctrica) [15].

Finalmente, estos productos son almacenados como terminados y despachados al mercado nacional y al internacional. En el ámbito nacional se distribuyen los productos principalmente por los canales de venta directa y grandes superficies [16].

#### 2.4. Caracterización de peligros y riesgos en las empresas del sector cerámico tradicional en el Valle de Aburrá

Colombia no es ajeno a la presencia de riesgos que se dan como consecuencia del aumento de las industrias y la implementación de nuevas tecnologías que trae consigo mayor probabilidad de que estos sucesos aparezcan con más frecuencia y que también acontecen en países en vía de desarrollo como China, Brasil, México [17][18][19].

Según [10] dentro del sector cerámico tradicional se encuentran registradas en total 34 empresas [20]. Para determinar el tamaño de la muestra se deben asumir las siguientes condiciones. El número de empresas se clasifican como una distribución de probabilidad normal, debido a que no se conoce ni la media ni la varianza de la población (se asume normalidad de la variable aleatoria). La probabilidad de tener éxito en la aplicación del instrumento es del 50% (de igual manera la probabilidad de tener fracaso), según [21] ésta es considerada una probabilidad conservadora, con un nivel de confianza del 95% y un error admisible del 10% del muestreo, según [22], es decir:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{n}} \tag{1}$$

$$n_0 = \frac{z^2 pq}{e^2} \tag{2}$$

Reemplazando, se tiene lo siguiente

$$n_0 = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(0.1)^2} = 96.04 \tag{3}$$

$$n = \frac{96.04}{\left(1 + \frac{96.04}{34}\right)} = 25.11 \tag{4}$$

La muestra óptima para la aplicación del instrumento es de 25 empresas del sector. Consecuentemente, después de aplicar el instrumento a las empresas, y con base en la identificación de [23][24][25], se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Figura 5 se observa que la distribución de empresas del sector, en su mayoría, está compuesta por la pequeña empresa, seguido de la mediana y la grande.

Por otro lado, autores como [25], clasifica los riesgos ocupacionales desde el punto de vista del origen y no del efecto, es decir, en riesgos: físicos, químicos, biológicos, carga física y psicosocial de inseguridad, del medio ambiente y, finalmente, de saneamiento ambiental. Otros autores [26], [27], [28], [29], [30], [31], los definen como riesgos ocupacionales.

En el riesgo físico se clasifican los factores ambientales de naturaleza física como la energía que se desplaza en el medio, es decir, cuando se entra en contacto con las personas se pueden tener efectos nocivos sobre la salud [25]. En la Figura 6 se presenta el comportamiento de este riesgo en el sector cerámico tradicional.

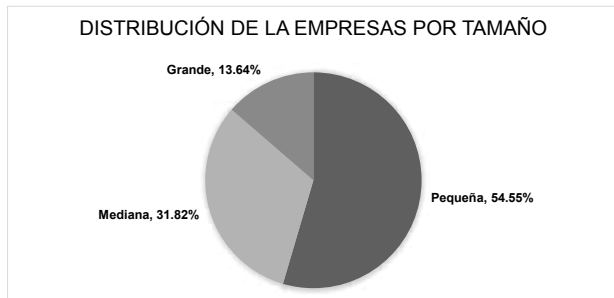


Figura 5. Distribución de las empresas por tamaño. Elaboración propia.

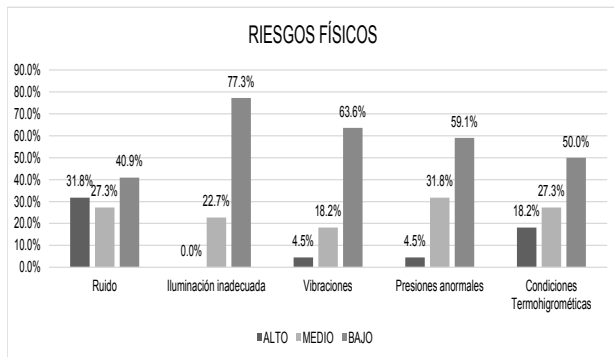


Figura 6. Comportamiento del riesgo físico en las empresas. Elaboración propia.

Según esta información se puede inferir que el riesgo físico que está presente en los tres tipos de empresas es el de la iluminación inadecuada. El 77.3% de las empresas lo considera como un riesgo alto. De igual manera, el 59.1% de las empresas considera el riesgo de presiones anormales como latente.

Para el riesgo químico, de acuerdo con [25] se define como los elementos y sustancias que entran al organismo y pueden provocar intoxicación. En la figura 7 se presentan estos riesgos.

Cabe resaltar que dentro del sector cerámico éste es un riesgo que se encuentra en el sistema productivo de las empresas por el alto material particulado, generación de gases y vapores en el momento de la cocción. El 13.6% de las organizaciones visualiza con un alto riesgo.

El riesgo de carga física y psicosocial, para [25] los define como los provenientes de trabajo como el proceso, la organización, el contenido y el medio ambiente que, en interacción con características del individuo y con aspectos extra laborales, determinan condiciones de salud y producen efectos en el bienestar del trabajador y en la productividad de la empresa. En la figura 8 se muestran los resultados obtenidos para este riesgo.

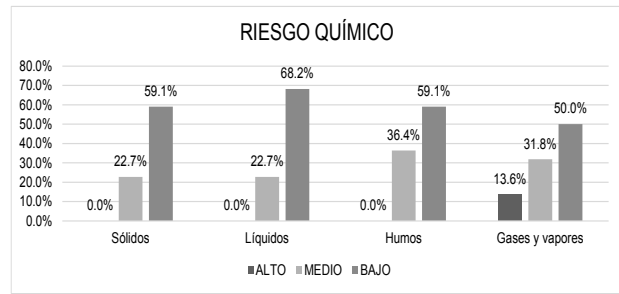


Figura 7. Comportamiento del riesgo químico en las empresas. Elaboración propia.

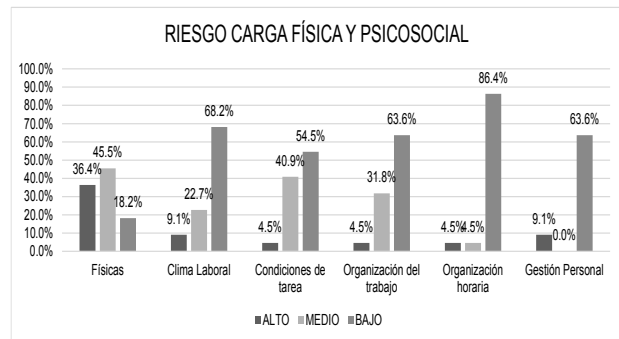


Figura 8. Comportamiento del riesgo de carga física y psicosocial. Elaboración propia.

El 36,4% de las empresas del sector considera las cargas físicas como un riesgo en sus procesos, y que se pueden dividir en posturas inadecuadas, una mala aplicación de fuerza, una movilidad inadecuada de carga y movimientos repetitivos. Cabe resaltar, además, que el clima laboral presenta un riesgo bajo para el 68,2% de las compañías, es decir, existe una buena cohesión entre las personas y un buen desempeño del equipo de trabajo.

El riesgo de inseguridad se define como aquellos factores que involucran condiciones peligrosas originadas en un mecanismo, equipo, objeto o instalaciones locativas que, por entrar en contacto con otra persona, pueden provocar daño físico de acuerdo con intensidad y tiempo de contacto.



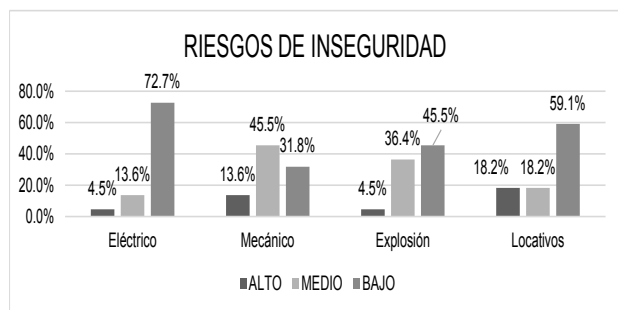


Figura 9. Comportamiento del riesgo de inseguridad. Elaboración propia.

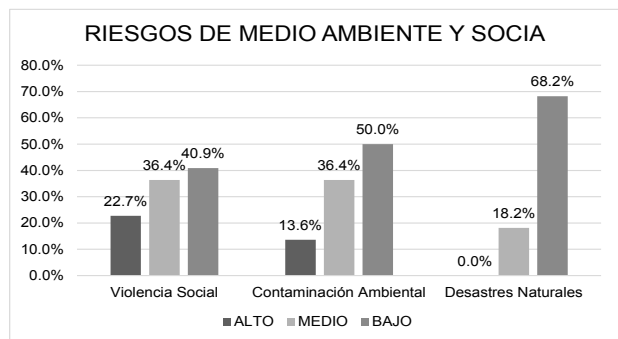


Figura 10. Comportamiento del riesgo de medio ambiente y social. Elaboración propia.

El 18.2% de las empresas considera alto los riesgos locativos y esto se puede explicar particularmente por el tamaño de las empresas, es decir, la empresa pequeña tiene restricciones en cuanto al espacio locativo y el diseño de sus procesos.

El factor de riesgo del medio ambiente físico y social es considerado como todas las condiciones externas que pueden desencadenar en los trabajadores y que normalmente no son controladas por el empleador [25]. Dentro de éstos se pueden clasificar los agentes como: exposición a la violencia social, contaminación ambiental y desastres naturales.

Para las empresas del sector cerámico se tienen las siguientes apreciaciones, como se presenta en la Figura 10.

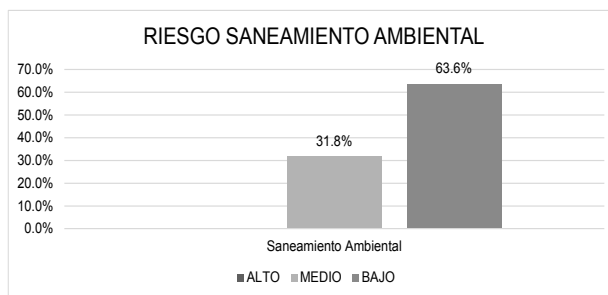


Figura 11. Comportamiento del riesgo de saneamiento ambiental. Elaboración propia.

Aunque la mayoría de las empresas están ubicadas en las laderas de la ciudad, el 68% de los empresarios no considera como un riesgo latente los desastres naturales que puedan llegar a ocurrir, por el contrario, la violencia es un riesgo que se generaliza entre medio y alto con un total del 59.1% de su apreciación.

El último factor de riesgo es el de saneamiento ambiental, que son todos los objetos, energía o sustancia sólida, líquida o gaseosa que resultan del uso, descomposición, transformación, tratamiento o destrucción de una materia o energía que carece de utilidad o valor y cuyo destino natural deberá ser su eliminación. Se presentan en la Figura 11.

En cuanto al riesgo de saneamiento ambiental, se pudo observar que el 63.6% de las empresas considera que es un riesgo bajo, esto se debe a un adecuado tratamiento que se realiza con las aguas residuales y recolección de residuos.

### 3. CONCLUSIÓN

En términos generales, el sector minero pasa por una coyuntura propicia para continuar su crecimiento económico por las actitudes tomadas desde las políticas de gobierno que permiten el aumento de la confianza inversionista nacional y extranjera y por las políticas para conservar el riesgo que puede llegar a sufrir el medio ambiente.

De igual manera, la importancia que ocupa el subsector de los cerámicos tradicionales en el Valle de Aburrá, puesto que cuenta con dos de las cuatro compañías más grandes del país y aportan con el desarrollo económico del Valle de Aburrá. Consecuente con esto, también es oportuno recalcar que el sector está compuesto por la pequeña y mediana



empresa y las empresas familiares son la base para el crecimiento de cada organización. Caso contrario ocurre con el nivel de empleabilidad de estas organizaciones en las que llega a ser deficiente en relación con la población total.

El impacto del desarrollo del sector se articula en gran medida por la cadena de abastecimiento, es decir, por la relación entre proveedores, empresa, clientes y el flujo de información. En la medida en la que esta cadena se fortalezca, impactará directamente en el sector cerámico tradicional en el Valle de Aburrá.

Por otro lado, los riesgos se encuentran dentro de las compañías del sector, unas con mayor relevancia que en otras, como lo menciona [32], pero estos riesgos siempre estarán inmersos en los procesos y dependen de las condiciones en las que se realice el trabajo, afectan de una u otra forma el desempeño de las organizaciones.

Para futuras investigaciones se recomienda crear una herramienta que permita el diagnóstico, análisis y la valoración de los riesgos de manera sistemática para tomar decisiones en cuanto a los riesgos profesionales.

## REFERENCIAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación, "Plan de Desarrollo Nacional: 'Prosperidad para todos' 2010-2014," pp. 1–51, 2010.
- [2] I. Russi, "El TLC y su impacto socioeconómico," *Univ. Sergio Arboleda*, 2014.
- [3] S. de Viteri, "El potencial Competitivo de la Empresa: Recursos, Capacidades, Rutinas y Procesos de Valor Añadido," *Investig. Eur. Dir. y Economía la Empres.*, vol. 6, pp. 71–86, 2000.
- [4] A. H. Maslow, "A theory of human motivation," *Psychol. Rev.*, vol. 50, no. 4, pp. 370–396, 1943.
- [5] DANE, "Informe Sector Minas - Departamento Administrativo Nacional de Estadística," 2009.
- [6] DANE, "Sector Cerámica - Departamento Administrativo Nacional de Estadística," pp. 379–390, 2008.
- [7] Banco de la Republica, "Reporte de Estabilidad Financiera," 2012.
- [8] DANE, "Producto Interno Bruto 2011 - Departamento Administrativo Nacional de Estadística," 2012.
- [9] DANE, "Informe de Coyuntura Económica Regional - Departamento Administrativo Nacional de Estadística," Antioquia, 2012.
- [10] Cámara de Comercio, "Cámara de Comercio de Medellín y Aburrá Sur," 2013.
- [11] R. H. Ballou, *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*, Quinta. México: Pearson Education, 2004.
- [12] J. R. Stock and D. M. Lambert, *Strategic Logistics Management*, Segunda. McGraw Hill, 2001.
- [13] H. Camacho, K. L. Gómez, and C. A. Monroy, "Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones," *Tenth Laccei Lat. Am. Caribb. Conf. (Laccei'2012)*, 2012.
- [14] R. B. Chase, F. R. Jacobs, and N. J. Aquilano, *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros*, Duodécima. México: McGraw Hill, 2009.
- [15] U. del Atlántico and Universidad Autónoma de Occidente, "Ahorro de Energía en la industria Cerámica," pp. 1–26, 2008.
- [16] C. E. Arbeláez and M. E. Delgado, "Estandarización de las estibas en una empresa productora de pisos esmaltados de cerámica," *Univ. la Sabana*, 2001.
- [17] M. Li, D. Huang, and M. Liu, "Review of Recent Researches on Occupational Health Assessment in China," *Procedia Eng.*, vol. 43, pp. 464–471, Jan. 2012.
- [18] A. Pinto, I. L. Nunes, and R. a. Ribeiro, "Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection," *Saf. Sci.*, vol. 49, no. 5, pp. 616–624, Jun. 2011.
- [19] M. a. Rodrigues, P. Arezes, and C. P. Leão, "Risk Criteria in Occupational Environments: Critical Overview and Discussion," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 109, pp. 257–262, Jan. 2014.

- [20] M. H. Noweir, M. M. Alidrisi, I. a. Al-Darrab, and M. a. Zytoon, "Occupational safety and health performance of the manufacturing sector in Jeddah Industrial Estate, Saudi Arabia: A 20-years follow-up study," *Saf. Sci.*, vol. 53, pp. 11–24, Mar. 2013.
- [21] C. Martínez Bencardino, *Estadística y Muestreo*, Décimo Ter. Bogotá: ECOE Ediciones LTDA., 2012, p. 898.
- [22] M. V. Buitrago and G. J. Posada, *Estadística: Guía Didáctica y Módulo*. Medellín: Fundación Universitaria Luis Amigó, 2008, p. 312.
- [23] C. Pan and Z. Jiangping, "Comprehensive Evaluation on Occupational Hazards for Steel Rolling Workshops with the Interactive Effects of Multiple Hazards," *Procedia Eng.*, vol. 43, pp. 143–149, Jan. 2012.
- [24] V. Villanueva and A. M. Garcia, "Individual and occupational factors related to fatal occupational injuries: a case-control study.," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, no. 1, pp. 123–7, Jan. 2011.
- [25] Ministerio de Protección Social, "Guía Técnica para el Análisis de Exposición a Factores de Riesgo Ocupacional," Colombia, 2011.
- [26] S. F. Hassam and K. A. K. Mahamad, "A study of occupational safety hazards: Safety and health issues in automotive industry," *2012 Int. Conf. Stat. Sci. Bus. Eng.*, pp. 1–6, Sep. 2012.
- [27] D. Huang, J. Zhang, and M. Liu, "Application of a Health Risk Classification Method to Assessing Occupational Hazard in China," *2009 3rd Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng.*, pp. 1–5, Jun. 2009.
- [28] T. Eckert, "Occupational hazards of the safety engineer," *2011 IEEE Symp. Prod. Compliance Eng. Proc.*, pp. 1–6, Oct. 2011.
- [29] A. Malakahmad, A. G. Downe, and S. D. M. Fadzil, "Application of occupational health and safety management system at sewage treatment plants," *2012 IEEE Business, Eng. Ind. Appl. Colloq.*, pp. 347–350, Apr. 2012.
- [30] T. Chang, "Characteristic analysis of occupational accident and management service model in Taiwan Power Company," vol. 2006, pp. 0–3, 2013.
- [31] J. Zhong-an and W. Pei, "Evaluation System and Method for Analyzing Occupational Hazards in Dust Workplace," *2012 Int. Conf. Comput. Distrib. Control Intell. Environ. Monit.*, pp. 301–304, Mar. 2012.
- [32] O. N. Aneziris, E. Topali, and I. a. Papazoglou, "Occupational risk of building construction," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 105, pp. 36–46, Sep. 2012.

# PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN DE SERVICIOS EN LA NUBE PARA LA MANIPULACIÓN DE SISTEMAS ROBÓTICOS CON EL USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES

## PROPOSAL OF A MANAGEMENT SERVICE MODEL TO HANDLE CLOUD ROBOTIC SYSTEMS BY MEANS OF MOBILE DEVICES

**Jaime Alberto Guzmán-Luna, PhD.**

*Grupo de Investigación Sintelweb  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
jaguzman@unal.edu.co*

**Ingrid-Durley Torres-Pardo, PhD (C).**

*Grupo de Investigación GEA Institución  
Universitaria Salazar y Herrera  
Medellín, Colombia  
l.torres@jush.edu.co*

**Paola Andrea Galeano-Hincapié, Ing.**

*Grupo de Investigación Sintelweb  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
pagaleanoh@unal.edu.co*

(Recibido el 10-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** Este documento propone un modelo para la tele-operación de robots con el uso de dispositivos móviles (celulares o tablets) como medios de comunicación entre el usuario y la máquina; para este propósito se sugiere utilizar un servidor que permita almacenar información sobre las especificaciones de cada uno de los dispositivos móviles. Paralelamente, se propone acudir a un conjunto de servicios web que operan desde la nube para construir una interfaz personalizada para el usuario la cual facilitará la tele-operación del robot por medio de la captura de datos y de una heurística.

**Palabras clave:** Dispositivos móviles; Servicios en la nube; Sistemas robóticos; Tele-operación.

**Abstract.** This paper proposes a model for tele-operation of robots using mobile devices (cellular phones and/or tablets) as a means of communication between the user and the machine; for this purpose it is suggested to use a server, which will store information on different specifications of each mobile devices; In parallel, intends to go to a set of Web services, that operate from the cloud to build them a custom user interface, which will facilitate tele-operation of the robot, through the collection of data and heuristics.

**Keywords:** Cloud services; Mobile devices; Robotic systems; Tele-operation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La computación en la nube brinda una alternativa que busca solucionar diversos problemas que atacan a la robótica; dos de los más comunes lo constituyen la capacidad de almacenamiento y cómputo junto con la independencia de la plataforma [3]. Se trata de una alternativa que, a través de un dispositivo con acceso a la web, interactúa con distintas aplicaciones para teleoperar un robot.

El modelo se apoya en los servicios web con el fin de aprovechar la abstracción de los datos implementada sobre la web moderna y permitir el consumo de diferentes servicios sin necesidad de que tengan conocimiento sobre la infraestructura que está detrás convirtiéndose en una buena opción en el momento de la manipulación remota en dispositivos de media o baja capacidad de cómputo [2]

El objetivo de este documento es presentar un modelo basado en la gestión de servicios en la nube para facilitar la teleoperación de un robot a través de interfaces personalizadas para el usuario. Con este propósito se utiliza un robot Lego Mindstorm [1], con el que se hace la integración del sistema operativo Android y el lenguaje Java Lejos bajo los IDE Eclipse o NetBeans para una mejor unificación entre ambos dispositivos.

Con el propósito de brindar un mayor detalle de la propuesta este artículo se organiza de la siguiente forma: la sección 2 realiza un breve recorrido por los principales conceptos y trabajos de la literatura que hacen uso de una arquitectura de cómputo en la nube y operan de manera remota un robot. Esta exposición termina con la presentación de la propuesta del modelo de gestión de servicios en la nube orientado hacia la manipulación del robot. En la sección 3 se exponen las características físicas y funcionales del robot usado dentro del modelo. La 4 expone un caso de estudio de tele-operación basado en realidad aumentada, seguido de los agradecimientos y conclusiones asociados con el proyecto.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Esta sección recopila, de manera sintética, los conceptos asociados con las principales temáticas de la propuesta. Además, se citan los trabajos más relevantes de la literatura sobre esta temática específica.

### 2.1. Dispositivos móviles

Un dispositivo móvil se puede definir como un aparato electrónico de tamaño mediano o pequeño, con alguna capacidad de procesamiento y posibilidad de conexión a una red, diseñado para una función específica, pero que puede llevar a cabo otras más generales. De esta manera, la definición abarca desde reproductores de audio portátiles hasta tablets o smartphone [12]. Con cada nueva versión del dispositivo se actualiza también el sistema operativo y las características del hardware. Esto incluye modificaciones y nuevas adiciones; tal es el caso de los últimos dispositivos móviles de la familia Galaxy (por parte de Samsung y Google) o el último iPhone (de Apple) que traen consigo una variedad de sensores y accesorios novedosos, como por ejemplo el “Sensor identificador de huellas digitales” integrado en el iPhone 5s o el pulsómetro incorporado en el Samsung Galaxy S5 y se destacan, además, los sensores gestuales que vienen implementando [13], [14].

A manera de resumen, en la Tabla 1 se muestran algunos de los dispositivos o sensores que se utilizan en la actualidad, en celulares de alta gama, algunos de ellos comunes en la mayoría de dispositivos móviles, mientras que otros (sensor de temperatura y humedad o el barómetro) son menos frecuentes. Junto a los sensores, existen otros métodos de entradas actualmente implementados en dispositivos móviles como el reconocimiento facial o el control por voz [15]. La Tabla 1 resume algunas de los citados en dispositivos [16].

### 2.2. Arquitectura de cómputo en la nube

La computación en la nube se compone de tres modelos principales [2]: i) *Software as a Service* (SaaS) en el que se presentan las aplicaciones para el consumo a través de la red, sin conocimiento alguno de la infraestructura. ii) *Platform as a Service* (PaaS), que presenta un entorno de desarrollo para el control y creación de aplicación, según las tecnologías que soporta el proveedor. Y, finalmente, iii) *Infrastructure as a Service* (IaaS) para el acceso a los recursos fundamentales o físicos, necesarios para el funcionamiento y comunicación. De manera paralela, para el manejo remoto de robots (teleoperación), existen varias propuestas referenciales que usan la arquitectura de cómputo en la nube, a partir de un servidor y diferentes conexiones con módulos de servicios o plataformas de implementación.

**Tabla 1.** Métodos de entrada comunes disponibles en dispositivos móviles

SENSOR - DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN
Acelerómetro	Mide la aceleración en el celular y la precisión es de un radio de 2G con un error aproximado de 0.18G.
GPS	Sistema de posicionamiento por satélite (error aproximado de 10m).
Giroscopio	Calcula el cambio en la orientación en radianes.
Pantalla	Dispositivo de entrada y salida principal y permite la interacción entre el usuario y el dispositivo móvil.
Luminosidad	Mide la intensidad de luz del exterior.
Proximidad	Calcula la proximidad de un objeto al celular y su rango no exceda los 5cm.
Wifi	Establece conexión y brinda acceso a la red.
BlueTooth	Transmisión de datos entre distintos dispositivos y artefactos electrónicos que posean el mismo dispositivo.
Temperatura y humedad	Medición de temperatura y humedad del aire.
Barómetro	Medición de la presión atmosférica.
Geomagnético	Detección de cambios en el campo electromagnético.
Gestual (guiado por infrarrojo)	Detección de movimientos por encima de la pantalla.
Joystick (externo)	Medio de entrada alternativo a la pantalla.

**Tabla 2.** Métodos de entrada seleccionados

DISPOSITIVO	SENSOR	DESCRIPCIÓN
Samsung Galaxy note	S pen	Permite escribir con la precisión de un bolígrafo e incluso incluye funciones adicionales en los botones laterales de algunos modelos.
Samsung Galaxy S4+	Air Gestures + Cámara + Acelerómetro	Detección de gestos de las manos sin tocar la pantalla del dispositivo, sigue el movimiento de las manos para realizar acciones y permite su manejo en tiempo real más preciso.
General (se compra por separado)	Stylus	El input del stylus es traducido a toque y usa método nativo del dispositivo para permitir la manipulación.
Android e iOS	Cámara + Acelerómetro	Estos sistemas operativos se pueden trabajar con licencias generales de software libre (código abierto sin fines de lucro).

El objetivo es conectar el robot a un servidor web. Este servidor envía el estado actual de la máquina a un usuario (computador o dispositivo), que, finalmente, puede controlar indirectamente el robot mediante un dispositivo de entrada. Se describen a continuación algunas de las propuestas de la literatura que se orientan hacia esta corriente.

AD - *Automatic Deliberative* [4], presenta los principales problemas cuando se utiliza la web como un medio de comunicación; además, expone soluciones de varios autores, en los que se evidencia la necesidad de profundizar en la estabilidad mediante una estrategia de *Supervisory Control* a partir de una arquitectura de “skills” (AD - *Automatic Deliberative*).

Por otra parte, Corba [5], expone la implementación de una arquitectura basada en Corba para el control de una mano robótica como ayuda para las personas de edad avanzada, mediante un “nivel de tareas”, un procesamiento de imagen y un “feedback server”.

En paralelismo [6], se propone obtener ventaja del paralelismo de la computación en la nube para reducir el procesamiento cuando se ha de adquirir información y, por tanto, contribuir de manera eficiente en la generación de rutas, mediante la comunicación en paralelo de diversos sistemas robóticos.

En SW-SOAP [7], se exploran varias alternativas para el control de un dispositivo robótico a partir de los servicios web. Se destaca la implementación de un protocolo SOAP. En el proceso se incorpora un servidor intermedio que proporciona la interfaz de servicios web. Tales servicios procesan los mensajes SOAP recibidos desde el usuario y los traduce en comandos adecuados para el robot y los envía al robot a través de la conexión Bluetooth inalámbrica; muestra, además, una vista en tiempo real de la operación remota del robot.

En SW Restfull [8], los autores exponen las ventajas de esta arquitectura en comparación con las arquitecturas antes mencionadas. Cabe resaltar (según el autor) la simplicidad, la capacidad de transmitir datos

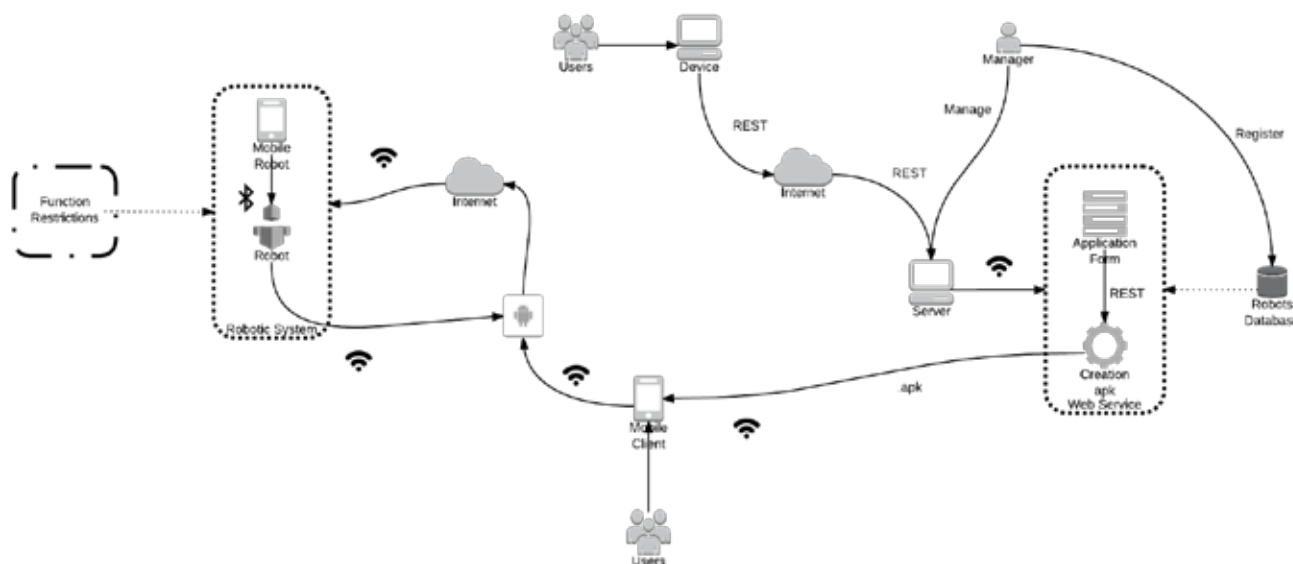


Figura 1. Arquitectura propuesta

sobre HTTP, así como el acceso con escaso consumo de recursos para sus operaciones por el limitado número de operaciones y el esquema de direccionamiento unificado [9], [10].

### 3. ARQUITECTURA PROPUESTA

Después de analizar las arquitecturas presentadas en la sección anterior, se determinó que comparten varias similitudes, entre las que se resaltan: i) el enlace entre el robot y un dispositivo (interno o externo). ii) la conexión que existe entre el dispositivo que es conectado al robot y el servidor. iii) el uso funcional del dispositivo, como mecanismo receptor de comandos del servidor y medio de transmisión al robot. Tales características, junto a las cualidades

descritas en [8, 11], sobre enfoque de servicios web, permiten proponer el modelo de gestión de cómputo en la nube, apoyado por servicios web RestFul, tal como se observa en la Figura 1.

Como se muestra en la Figura 1, el usuario actúa como eje central de la arquitectura y puede acceder a través de un dispositivo móvil, mediante la invocación de un servicio web (Restful) a algunas de las tareas que se encuentran disponibles en el servidor. Para ello, el usuario debe identificar el tipo de robot que tiene sobre una interfaz de acceso al servidor. Como paso siguiente, el servidor habilita el acceso al usuario a una base de datos generalizada.



Figura 2. Tracción del robot

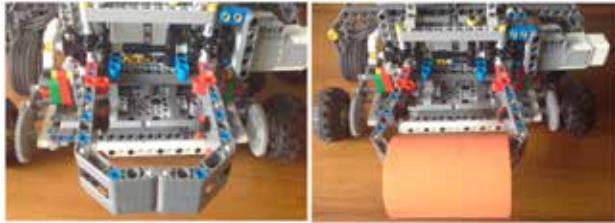


Figura 3. Garra del robot

Esta base, contiene acciones (tareas) propias de un robot (ir capturar imagen, girar adelante, girar a la derecha, girar a la izquierda, etc.) almacenadas bajo una taxonomía genérica de identificación robots. Las características de cada robot identificado en la taxonomía pueden ser enriquecidas por el usuario, a través de un acceso (limitado, por cuestiones de seguridad) de información al servidor. Sin embargo, cuando se habilita el acceso al usuario, este podrá acceder únicamente a las tareas que se encuentran disponibles para su tipo de robot. De esta manera la identificación del robot del usuario, actúa como un filtro de tareas. Una vez se ha identificado el robot, el usuario selecciona la tarea de su interés y ordena su ejecución, a través de otro servicio web. Para ello, la orden debe ser convertida a un APK (el cual corresponde a un archivo, comprensible por el sistema operativo Android, el cual está presente en la mayoría de dispositivos móviles). Una vez, el archivo es descargado sobre el dispositivo, la tarea puede ser ejecutada sobre el robot. En cada paso se espera tener habilitada la conexión wifi, para otorgar acceso a algunas librerías, driver o cualquier otro componente que lleve a buen fin la ejecución de la acción en el robot.

Con el fin de brindar un mayor detalle del caso de estudio desarrollado, a continuación se expone el diseño físico del robot utilizado, así como la descripción del dispositivo móvil implementado.

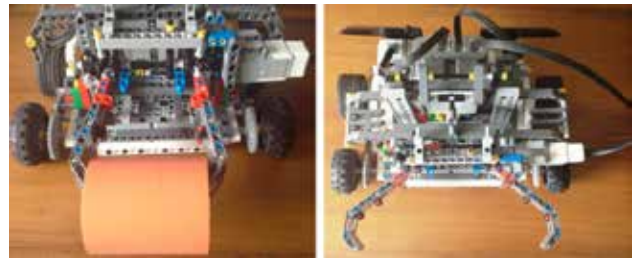


Figura 4. Vista aérea del robot

La Tabla 3 muestra el resumen de las conexiones de los motores y los puertos del robot construido.

Tabla 3.

### CONEXIONES DEL ROBOT

Motor	Puerto
Motor de la garra	A
Motor izquierdo	B
Motor derecho	C

### 3.1. Caracterización física del robot

Para la implementación física del robot se utilizaron piezas del kit Lego Mindstorms NXT Education y del kit Lego Mindstorms Ev3. La característica más sobresaliente es que el ladrillo del robot es un NXT y los motores son de un Ev3.

El robot posee tres motores; uno pequeño (para la garra) y dos grandes para las cuatro llantas, así, cada llanta trasera está unida a una llanta delantera por medio de engranajes para permitir que se dé una doble tracción en las cuatro llantas, tal y como se muestra en la Figura 2.

Finalmente, el robot utiliza una garra para coger o soltar objetos para trasladarlos de un punto a otro, como se observa en la Figura 3.

En la Figura 4 se puede apreciar el robot en su dimensión física completa.





Figura 5. Robot con tablet Samsung Galaxy Tab 3

### 3.2. Dispositivo móvil

El dispositivo móvil del usuario está representado por una tablet Galaxy Tab 3, la cual dispone de una app que provee una interfaz de control del robot y una visualización directa de lo que es capturado por el robot; la app fue desarrollada en código nativo de Android y dispone de unos botones para tele-operar al robot y que son accionados de forma táctil.

Para lograr una completa compatibilidad, al robot también se le incorporó una tablet Samsung Galaxy Tab 3, a través de la cual se permite la integración de los comandos que llegan vía wifi al robot. Al mismo tiempo que se puede utilizar su cámara para guiar al usuario en el manejo remoto del robot, como se observa en la Figura 5.

### 3.3. Implementación

La aplicación que implementa la arquitectura de computo en la nube fue desarrollada en el IDE Unity [17] junto al SDK Vuforia [18], que dispone de un plugin para este IDE. El trabajo en este entorno es sencillo y ofrece muchas posibilidades, por lo que se puede compilar la aplicación para distintas plataformas móviles como Android, iOS, PC, entre otras.

Vuforia realiza el trabajo de forma transparente al desarrollador, a través de la cámara en el dispositivo busca y detecta los *markers* (secuencia gráfica codificada) en el entorno real y, ya reconocidos, superpone sobre la vista del mundo real elementos virtuales predefinidos en el desarrollo de la app, es decir, se construye así una realidad aumentada.

El robot muestra la visión del robot y los objetos 3D en la pantalla de la tablet que está sobre el robot. Por ello, se pensó retransmitir la pantalla de la tablet como un *streaming* a la tablet del usuario y se eva-

luaron varias opciones, entre ellas *Screen Stream Mirroring*, *Webkey* y *Mobizen*, pero la que mejor desempeño tuvo fue *Mobizen* en su versión 2.7.0.4 puesto que provee un video continuo y muy cercano al tiempo real, razón por la cual se instaló en la tablet del robot para generar un *streaming* de la pantalla a través de la red local a la cual se puede acceder desde una página web (alojada en el servidor), mediante el propio servicio.

Cuando se presiona un botón se envía un comando mediante un socket a la tablet robot, a la par que muestra el *streaming* de video proveído por *Mobizen* a través de una página web incrustada en un *WebView*; cabe resaltar que es ideal que la app usuario corra en una versión de Android 4.4.x en esta versión se añadieron características que mejoran la versatilidad del *WebView* para acceder al *streaming* sin problemas, además, se debe modificar el *User Agent* del *WebView*, pues la página web de *Mobizen* no deja ser visualizada desde dispositivos móviles.

## 4. CASO DE ESTUDIO

Con el ánimo de comprobar la funcionalidad de la arquitectura, se valoró la tele-operación de un robot de forma remota, dentro de una locación de prueba (ver Figura 6), que tiene dispuesto *markets* en diferentes espacios que deben ser retransmitidos entre el robot y el usuario. El objetivo principal consiste en navegar con el robot operado remotamente, realizar un recorrido de un espacio físico y retransmitir las imágenes en tiempo real. Tales pruebas se hicieron desde dos perspectivas: i) sin incorporar elementos funcionales de la arquitectura y ii) ingresando a servicios de visualización de realidad aumentada y transmitir las imágenes. Ambos resultados fueron recopilados, analizados y valorados.

La Figura 6, también señala el recorrido que se espera realice el robot en un tiempo mínimo y traslade con su garra objetivos del punto A a los posibles puntos B.



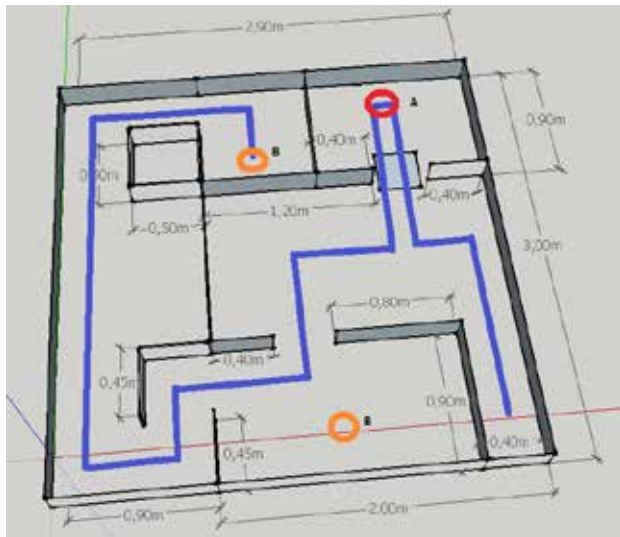


Figura 6. Mapa físico y recorrido objetivo del robot

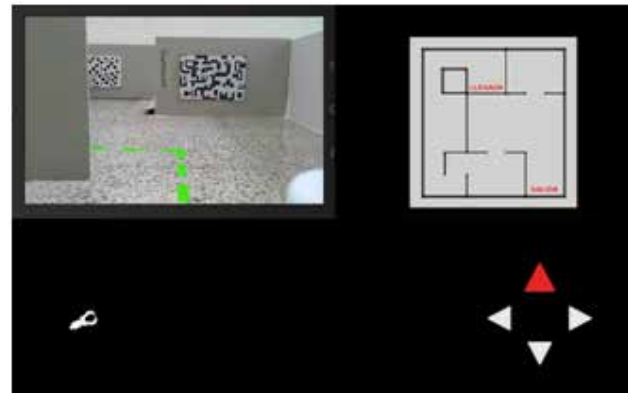


Figura 8. Interfaz de usuario sin realidad aumentada

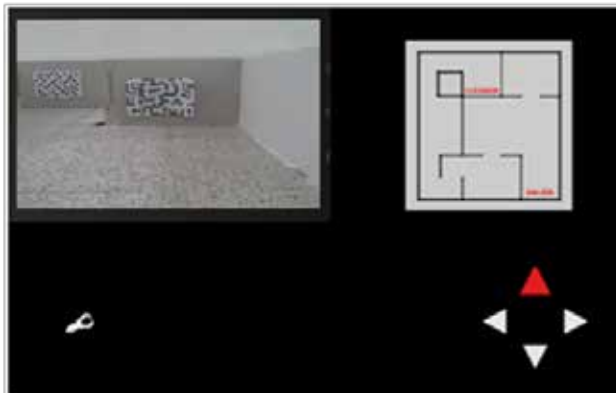


Figura 7. Interfaz de usuario con realidad aumentada

Para evaluar la eficiencia de la plataforma se valoró primero la prueba sin incorporar la realidad aumentada. En la Figura 7 se registra el resultado de la imagen transmitida desde el robot al usuario.

Por su parte, la Figura 8, muestra el registro de la imagen transmitida al usuario con la prueba con la incorporación de la realidad aumentada.

Los resultados de los tiempos obtenidos con ambas pruebas fueron valorados por una muestra poblacional de 11 personas, quienes realizaron ambas pruebas (sin realidad aumentada –Sin RA- y con realidad aumentada –Con RA-). El registro de los tiempos generados como resultado fue tabulado en la Figura 9.

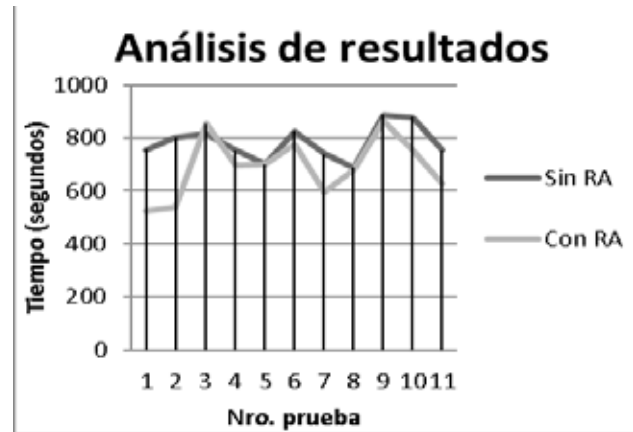


Figura 9. Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que el tiempo en el que un robot realiza el recorrido completo es menor si se utiliza la realidad aumentada en comparación a si sólo se hace con una vista plana del video que capta el robot. Esto demuestra que el tiempo del proceso de conexión y acceso al servidor resulta despreciable. Se añaden, además, los evidentes beneficios logrados en la calidad de la imagen que resultan más claros en la transmisión Con RA.

## 5. TRABAJOS FUTUROS

Como trabajo futuro se propone la implementación de la plataforma e incorporación de otras tareas funcionales dentro del servidor y con la categorización de otros modelos robóticos. Por ahora sólo ha sido considerado con el dominio Lego.

## 6. CONCLUSIONES

Para obtener un mejor rendimiento y aprovechar el potencial de los robots teleoperados (Lego por ahora), resulta útil considerar arquitecturas de cómputo en la nube que, mediante servicios web, habiliten la integración de usuario-robot y servidor.

La realidad aumentada juega un papel relevante en la tele-operación de robots ya que si bien es cierto que el mismo recorrido se puede realizar sin la necesidad de una realidad aumentada (sólo con inspección visual), resulta más preciso y efectivo hacerlo con una visión aumentada de la realidad.

El modelo de tele-operación basado en servicios web RestFul, está fundamentado en los criterios de escalabilidad de software y versatilidad. Además, resulta compatible con el sistema operativo Android.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este documento reconocen las contribuciones del grupo de investigación Sintelweb, de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), en la creación y propuesta de un modelo capaz de tele-operar un robot, por medio de interfaces de usuario que usan realidad aumentada para facilitar la tele-operación del robot. Se destaca el aporte significativo de César Camilo Parra Marino, miembro del grupo que contribuyó con el despliegue del trabajo anteriormente mencionado. Además de brindar un especial reconocimiento al proyecto “Modelo de gestión en la nube para la manipulación de sistemas robóticos utilizando dispositivos móviles” aprobado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) en su convocatoria 617 del 2013 llamada “Convocatoria para conformar bancos de elegibles para formación de alto nivel para la ciencia, la tecnología y la innovación (semilleros y jóvenes investigadores, doctorados nacionales y en el exterior)”. Este proyecto está asociado particularmente con el módulo (1) semilleros de investigación de dicha convocatoria.

## REFERENCIAS

- [1] E. A. Castro Estrada, “Manual de prácticas de robótica móvil programadas en Java utilizando el Kit Lego Mindstorms.” 2011.
- [2] O. Mejia, “Computación en la nube”. *ContactoS*, Vol. 80, pp. 45-52, 2011.
- [3] B. Rosero and J. Guzmán, “Computación en la nube como modelo distribuido para la interacción de plataformas robóticas”. *Vínculos*, Vol. 10, No 1, pp. 227-235, 2013.
- [4] A. Khamis, F. Rodríguez, and M. Salichs, “Remote interaction with mobile robots”. *Autonomous Robots*, Vol. 15, No 3, pp. 267-28, 2003.
- [5] S. Jia and K. Takase, “Internet-based robotic system using CORBA as communication architecture”. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 34, No 2, pp. 121-134, 2002.
- [6] R. Arumugam and V. Enti, “DAVinCi: A cloud computing framework for service robots”. *Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference on*. IEEE, pp. 3084-3089, 2010.
- [7] J. Du, U. Witkowski, and U. Rückert, “Teleoperation of a mobile autonomous robot using web services”. En *Proceedings of the 3rd International Symposium on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment (AMiRE 2005)*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 55-60, 2006.
- [8] M. Murazza, F. Millán, N. Rodríguez, D. Segura, and D. Villafañe, “Desarrollo de aplicaciones para Cloud Computing”. En *XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2010.
- [9] W. Brogden, “REST versus SOAP—the REST story,” Website. Last accessed Novemb. Vol.20. 2009.
- [10] R. Enríquez and A. S. C., “RESTful Java Web Services Security”. Packt Publishing Ltd. 2014.
- [11] L. Richardson, M. Amundsen, and S. Ruby, “RESTful Web APIs”. O’Reilly Media, Inc. 2013.
- [12] A. B. Alonso, I. F. Artime, M. Á. Rodríguez, and R. G. Baniello, “Dispositivos móviles”. EPSIG Ing. Telecomunicación Universidad de Oviedo.

- [13] Samsung, "Samsung Galaxy S5," 2014. [Online]. Available: <http://www.samsung.com/es/offer/galaxys5/>. [Accessed: 16-Oct-2014].
- [14] Apple, "iPhone 5s," 2014. [Online]. Available: <https://www.apple.com/la/iphone-5s/specs/>. [Accessed: 16-Oct-2014].
- [15] Y. Bermúdez and J. López, "Análisis comparativo entre sistemas operativos de dispositivos móviles Android, Iphone y Blackberry", Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. [Online]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2474>. [Accessed: 15-Oct-2014]
- [16] L. Delía, N. Galdamez, P. Thomas, P. Pesado, "Un análisis experimental tipo de aplicaciones para dispositivos móviles", XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, 2013. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32397>. [Accessed: 15-Oct-2014].
- [17] Unity Technologies, "Unity," 2014. [Online]. Available: <http://unity3d.com/unity/download>. [Accessed: 22-Oct-2014].
- [18] Qualcomm Connected Experiences, "Vuforia Developer Portal," 2014. [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/>. [Accessed: 22-Oct-2014].

## INTERFAZ COLABORATIVA Y EMOCIONAL PARA INTERPRETAR EL SENTIDO COMÚN

### COLLABORATIVE AND EMOTIONAL INTERFACE TO INTERPRET THE COMMON SENSE

**Alberto Balcázar-Rengifo, Ing.**

*Grupo de investigación IDIS  
Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
balcazaralberto@gmail.com*

**Fabio Hernán Cerón, Ing.**

*Grupo de investigación IDIS  
Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
facer8025@gmail.com*

**César A. Collazos, PhD.**

*Grupo de investigación IDIS  
Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
ccollazo@unicauca.edu.co*

**Rosa Gil-Iranzo, PhD**

*Universitat de Lleida  
Lérida, España  
rgil.iranzo@gmail.com*

(Recibido el 10-03-2014. Aprobado el 30-05-2014)

**Resumen.** El propósito de este trabajo es diseñar e implementar una aplicación web que relacione sentencias que se asocian con el sentido común y con la connotación emocional que tienen para cada persona. Para definir el marco de trabajo se propone un conjunto de características que facilitan el trabajo colaborativo y que permitan la interacción de los usuarios para fomentar la producción de nuevos conocimientos. Entre ellas: el perfil de usuario, con el que se definen elementos para procesar la información obtenida con los rasgos característicos de los participantes; el chat como herramienta de comunicación que permite la interacción en tiempo real; un foro que usa comentarios para recoger el sentido común y emoticones que servirán para representar las emociones asociadas con los comentarios realizados en el foro. Se construyó una aplicación web para recolectar el conocimiento tácito de las personas,

conocido como sentido común, en la que los usuarios pueden registrarse y participar con sus aportes en foros sobre los diferentes temas propuestos. Para validar la usabilidad de la aplicación se hizo una encuesta a los participantes luego de su participación, de la cual se puede determinar que la inclusión de elementos emocionales y colaborativos como chats, foros y emoticones, facilitó la interacción de los participantes, quienes escribieron y asociaron emociones a sus comentarios. También les fue posible comentar sobre aportes de otros participantes y se dinamizó este proceso con la creación de pequeñas discusiones alrededor de un tema específico.

**Palabras clave:** Sentido común; Trabajo colaborativo; Elementos emocionales; Interacción; Interfaz colaborativa.

**Abstract.** The purpose of this paper is to design and to implement a web application that relate judgments associated to the common sense, the emotional connotation that they have to every person. To define the framework, it is proposed a set of features that facilitate collaborative work allowing users to interact and develop the generation of new knowledge, such as the user profile, which seeks to define the elements that process the information obtained taking into account the participants' defining features, the chat as a communication tool allowing users to interact in real time, a forum to collect the common sense written as comments by users, the use of emoticons which function is to represent the emotions associated to the comments written in the forum. A web application was designed to collect people's tacit knowled-

ge known as common sense, in this application, the users can register and participate using the forums to give opinions about the different proposed topics. To validate the application usability, a survey was taken by the participants after using the application where the result shows that the inclusion of emotional and collaborative elements such as, chats, forums and emoticons, facilitate the users' interaction who wrote and associate emotions to their comments. It was also possible for the participants to discuss about each other comments, obtaining as a result many different discussion groups about a topic.

**Keywords:** Common sense; Collaborative work; Emotional elements; Interaction; Collaborative interface.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología se han desarrollado computadoras cada vez más potentes, con mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento, que realizan múltiples tareas, incluso de suplir al ser humano en diferentes actividades laborales, en especial las que necesitan de concentración y precisión [1] [2]. Todo esto ha sido posible gracias a las investigaciones, estudios y proyectos que se han hecho en los últimos años. Pero, aunque puedan efectuar actividades con precisión, aún carecen de inteligencia propia y de capacidad para elegir o tomar una decisión frente a un acontecimiento que no se les haya programado. En otras palabras, carecen de la lógica del sentido común.

La lógica del sentido común es aquella que las personas usan continuamente sin darse cuenta [3]. “En este contexto, cuando una persona se enfrenta a un problema o hace un razonamiento, suele usar datos que no le han sido dados explícitamente. Gran parte de estos datos, que generalmente son compartidos por todas las personas, en la mayoría de las situaciones, forman lo que se denomina “sentido común”, o “base de datos de sentido común” en el ámbito de la inteligencia artificial. Por tanto, aquellos razonamientos basados en estos datos se denominan razonamientos basados en sentido común. Además, este conocimiento no solo lo utilizan los que quieren resolver un problema, también se utiliza en múltiples situaciones, como por ejemplo, en una conversación, donde los interlocutores comparten un conocimiento básico que les permite intercambiar información. Esto da lugar como consecuencia a que la comunicación sea más eficiente, ya que no es necesario especificar todo aquello que se da por supuesto” [4].

En las dos últimas décadas se han desarrollado proyectos enfocados hacia la recolección del conocimiento lógico de las personas frente a situaciones cotidianas para transmitirlos a las computadoras y tratar de que actúen más parecido a los seres humanos. Se han empleado múltiples métodos para recoger información, algunas veces con usuarios pagados [5], usuarios de la web, proyectos privados [6] o de instituciones universitarias sin ánimo de lucro [7], en idiomas como el inglés, coreano [8], chino y portugués [9].

Pero, la recolección del conocimiento lógico se ha hecho mediante aplicaciones muy básicas, en las que no se ha tenido en cuenta que éste puede variar

de una región a otra, de un país a otro, incluso entre regiones de un mismo país; además varía entre las diferentes etapas de la vida de una persona.

Existen diversos proyectos y propuestas orientadas a recolectar el conocimiento lógico de las personas, pero ninguna para el idioma español ni usan elementos colaborativos, aspectos que son el propósito de esta investigación.

Desde esta perspectiva es preciso preguntar sobre cuáles elementos emocionales deberían incluirse en un entorno colaborativo para recoger y estructurar el sentido común de los usuarios a través de una interfaz interactiva.

En este artículo se analizan los elementos que pueden contribuir con la construcción de una aplicación web que mejore la interacción de los usuarios con la aplicación y si realmente los aportes recolectados guardan un grado de fidelidad con lo que los usuarios deseaban expresar. Además, los investigadores contarán con diversas perspectivas recogidas con la aplicación y que podrán aprovecharse para sus investigaciones.

En la siguiente sección se describen los trabajos que han explorado el campo de las aplicaciones virtuales y de los cuales se resaltan los más importantes. Posteriormente, se describirán los elementos que componen la interfaz y porqué fueron incluidos en este proyecto; finalmente, las conclusiones y propuestas para futuros trabajos.

## 2. TRABAJOS RELACIONADOS.

Los primeros proyectos que iniciaron la tarea de recolectar el conocimiento lógico conocido como sentido común se inclinaron por interfaces muy básicas centradas en la recolección de datos pero no ofrecieron una buena experiencia de usuario. A continuación se presentan algunos de estos proyectos.

### 2.1. Descripción general

#### Mindpixel [5]

Este proyecto, del que se tiene muy poca información, se centra en la creación de una base de conocimiento con declaraciones de tipo falso-verdadero. Funcionó desde 2000 a 2005. Los participantes en

el proyecto eran responsables de evaluar las declaraciones de tipo verdadero/falso de manera anónima, junto con otras 20 personas por medio de una aplicación web. Para la presentación de los datos se tuvieron en cuenta las declaraciones en las que estaban de acuerdo la mayoría de los participantes y sobre las que no se alcanzaba un alto grado de participación eran desechadas. A una declaración del tipo verdadero/falso correctamente validada se le denominaba MindPixel.

### **Proyecto Mente abierta al sentido común (OMSC) [7]**

Este proyecto se centra en recoger pequeños fragmentos de sentido común en internet y con la colaboración de sus millones de usuarios. La información se recoge por medio de una aplicación web que permite a cada colaborador registrarse. Cuando se haya registrado se le presentan diferentes hilos en los que puede colaborar. Cada hilo presenta un formulario con frases para construir oraciones lógicas que pueden ser agregadas a la base de conocimiento.

### **Mente abierta al sentido común - Brasil (OMSC Br) [9]**

Es un proyecto del Laboratorio de interacción avanzada (LIA) de la UFSCar, en colaboración con Media Lab del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), para recoger el conocimiento de las personas, llamado sentido común, con el fin de desarrollar aplicaciones informáticas que pudieran utilizar esos conocimientos y ser efectivo para la gente. El proyecto usa una aplicación web para recolectar los conceptos de sentido común para el idioma portugués, con pequeños formularios en los que se solicita a los participantes agregar su opinión.

Adquisición de datos de sentido común para los robots móviles de interior [10]

El objetivo de este proyecto era mejorar la inteligencia de los robots móviles que trabajan en casa y dotarlos de sentido común. La información recopilada fue aportada por usuarios de internet a través de una interfaz similar a la del proyecto OMSC del MIT y relacionados con la base de conocimiento. Cuando un usuario iniciaba sesión con su cuenta, se le presen-

taba una actividad aleatoria. Después de un número aleatorio de entradas para una actividad en particular, el sistema le presentaba una nueva actividad.

### **Proyecto iAgents [11]**

Este proyecto de análisis de sentimiento chino, tenía como interés la entrega de conocimiento, verificación y razonamiento del sentido común y aprovechar la existencia de la base de datos en inglés, que sirve como guía para hacer preguntas de calidad. Por otra parte, mediante el acoplamiento de la minería de texto y juegos con-un-fin (GWAP), se construyó un bucle auto-sostenible de recolección de conocimientos, y así, mejorar la precisión y la cobertura de los datos adquiridos.

### **Mascotas virtuales [12]**

Es un juego, producto de **iAgents**, que permite al usuario enseñarle a una mascota virtual y recoger el sentido común adecuado para su base de conocimientos. Los jugadores pueden consultar a sus mascotas algunas preguntas relacionadas con el sentido común. Las mascotas deben responder tanto al usuario como en la escuela virtual preguntas del tipo sí/no (por ejemplo, la torta es un tipo de comida). El jugador también puede ayudar a las mascotas a responder a sus deberes para ayudarla a aprender. Además, se añade un sistema de votación para evitar respuestas equivocadas.

### **Top 10 [13]**

Es un juego que consiste en una lista de afirmaciones que se clasifican de acuerdo con su frecuencia. Genera afirmaciones con los registros de juego que son la frecuencia, los buenos y los malos votos. Sin embargo, las interfaces usadas son muy frías y su único propósito es capturar el conocimiento suministrado por los participantes del proyecto.

### **Informática Sentic (Computing Sentic) [14]**

Es un enfoque multidisciplinario para el análisis de los sentimientos en la confluencia entre la informática y la computación afectiva de sentido común e involucra el uso de la IA y las técnicas de la web. El conocimiento se obtiene a través de etiquetas de reglas secuenciales (LSR), diferentes fuentes de abastecimiento (modelos, técnicas, herramientas, aplicaciones), y las técnicas Gwap.

### Juego Reloj de arena (Hourglass Game) [15]

Es un juego de velocidad que consiste en la selección del nivel semántico que se asocia con un concepto afectivo dado. Los jugadores ganan puntos no sólo de acuerdo con la precisión, sino también con la rapidez en hacer clic. El inconveniente de este juego es que es poco viral, ya que los participantes están poco interesados en regresar.

### Sentic mascotas (Sentic pet) [16]

Es un juego multi-jugador en línea (MMO) en el que los jugadores tienen que hacerse cargo de sus propias mascotas. A diferencia de los juegos de estilo antiguo como tamagotchi, en Sentic mascotas, se busca que los usuarios contribuyan con la formación de sus mascotas, en lo mental y en la habilidad y jueguen mini-gwaps. El juego consiste en equilibrar dos actividades principales: la formación de la mascota y probar sus habilidades para desafiar a otros jugadores. La formación no implica simplemente la enseñanza de los nuevos conocimientos a la mascota, sino también el perfeccionamiento de los conocimientos adquiridos.

Basados en una clasificación propia, se construyó la Tabla 1, que cruza estos proyectos contra un listado de características elegidas por los responsables del proyecto, con la idea de introducir el concepto de usabilidad al diseño de la interfaz de una aplicación web con la que se pretende mejorar la adquisición de conocimiento a través de internet.

#### 2.2. Listado de características:

**Perfil de usuario:** Se definen características como nacionalidad, región, escolaridad, edad, credo, entre otros, que permitirán caracterizar los participantes e identificar sus particularidades.

**Mecanismos de comunicación:** El objetivo de esta característica es fomentar la comunicación de una forma más personal y desarrollar discusiones e intercambiar ideas en tiempo real.

**Mecanismos emocionales:** Representan las emociones que van a ser asociadas con los comentarios de los foros. Hay que tener en cuenta que las emociones que se despiertan en una persona frente a una situación pueden ser diferentes a las de otra persona.

**Tabla 1.** Comparación entre las aplicaciones utilizadas para la recolección de sentido común.

Características	Proyectos	Adquisición de datos de sentido común para robots interiores.	de Proyecto	Mente abierta al mundo.	Proyecto Mindpixel	Sentido común Abierta de Brasil	Juego Top 10	Reloj de arena del juego	Sentic mascotas	Adquisición de datos de sentido común para robots interiores.
Perfil de usuario	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No
Mecanismos de comunicación	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Mecanismos emocionales	No	No	No	No	No	No	Si	Si	No	No
Calificación de aportes	No	Si	No	No	No	No	No	Si	Si	No
Identidad	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	No
Culturalidad	No	No	No	Si	Si	No	No	Si	Si	No
Idioma	Inglés	Inglés	Inglés	Portugués	Mandarín	Inglés	Inglés	Inglés	Inglés	Inglés

**Calificación de aportes:** Permite saber si los participantes están de acuerdo o no con un tema o aporte específico.

**Identidad:** Son los elementos usados para que las personas se sientan representadas dentro de la aplicación.

**Culturalidad:** Estará definida en el perfil de usuario y permitirá diferenciar elementos de sentido entre diferentes regiones y países.

**Idioma:** Como los trabajos previos se realizaron en idiomas como el inglés, portugués y el mandarín, se considera importante crear una aplicación que ayude a recolectar el sentido común en el idioma español y crear, en el futuro, una base de conocimiento en habla hispana. Esta característica se puso de forma independiente a la Culturalidad por ser un aspecto fundamental.

Como se puede ver en la Tabla 1, ninguno de los proyectos mencionados integra todas estas características y, por ello, se presenta la propuesta **Entorno colaborativo para modelar y estructurar el sentido común de los usuarios a través de una interfaz emocional** como una alternativa a la forma como se ha venido recolectando el sentido común.



### 3. MODELO PROPUESTO.

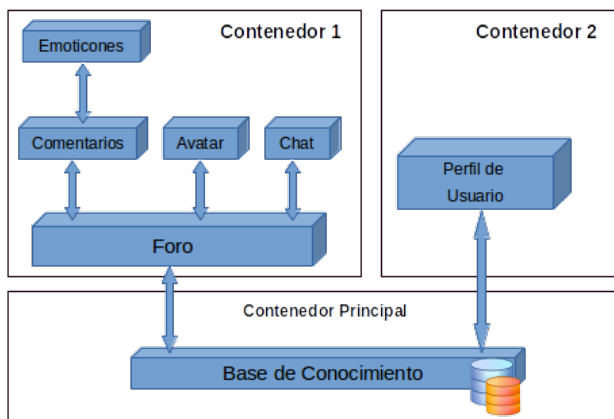


Figura 1. Arquitectura

La Figura 1 muestra la arquitectura propuesta que consta de tres contenedores. **El contenedor 1:** Debido a que las herramientas utilizadas en otros proyectos no disponen de elementos de comunicación, esta propuesta incluye algunos elementos como chat, comentarios y, en la parte emocional, se incluyen avatares y emociones. **En el contenedor 2** se incluye el perfil de usuario que aportará criterios de evaluación para la información recogida a través de la aplicación y, finalmente, el contenedor principal en el que presenta la base de conocimiento que será alimentada con los aportes de las persona.

Con base en esta arquitectura se propone el entorno web colaborativo **Sentido Común – Colombia (SC-COL)**, que no aisle a los usuarios entre sí y que facilite su comunicación. Para conseguir esto se construyó una interfaz que integra elementos como chats, foros, avatares y emociones asociadas con cada aporte. Su función es facilitar la realización de aportes del usuario, por medio de un entorno agradable, fácil de manejar en el que se encuentren con personas que tengan sus mismos intereses, de forma que puedan socializar, debatir y producir nuevo conocimiento que será útil tanto para el proyecto como para ellos mismos.

Con el fin de obtener los mejores resultados en SC-COL, se aprovechó la experiencia obtenida por el proyecto OMSC-BR [9] que utiliza preguntas para crear una base de conocimiento con la ayuda de sus colaboradores en línea. Por tal razón, se toman como base algunos temas de este proyecto para crear la base de conocimiento del proyecto SC-COL.



Figura 2. Perfil de usuario

Luego de obtener los aportes de los usuarios, se necesita procesar la información recogida a través de la aplicación web. En este punto se tiene en cuenta el perfil de usuario que se usará para caracterizar la información. Sin embargo, para que esto sea posible cada usuario deberá estar registrado en la aplicación y diligenciar el formulario de registro.

### 4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.

El objetivo fue diseñar (ver figuras 3 y 4) e implementar una interfaz colaborativa y emocional para recoger y estructurar el sentido común de los usuarios. Para lograr esto se diseñó una aplicación que incluye elementos como un perfil de usuario que tiene en cuenta rasgos propios de cada participante (sexo, edad, formación académica, credo, procedencia, entre otros) para procesar la información de manera exacta.

La idea de usar un foro y un chat como elementos para fomentar el trabajo colaborativo surge de la familiaridad que tienen las personas con estas herramientas. Un foro permite a los usuarios expresar su opinión sobre el tema planteado y, además, comentar sobre un aporte hecho por otra persona y estimula para que se forme una discusión con nuevo conocimiento común a todos los participantes. El chat es un elemento de comunicación directa entre los participantes del foro, por medio del cual pueden interactuar de una forma personal y sencilla para romper la rigidez de otras interfaces usadas únicamente para recolectar información. Un chat deja que los participantes de un foro se conozcan más e intercambien opiniones sobre el tema propuesto.



Figura 3. Página principal

Otro elemento relevante en el momento de escribir un comentario es la parte emocional que un tema determinado pueda despertar en una persona. Es por eso que se integra a la interfaz la posibilidad de agregar un emoticón que represente la emoción que el usuario asocia con el aporte. Hasta el momento se dispone de siete emoticones que representan las emociones que pueden ser asociadas con los comentarios del foro.

En la Figura 3 se encuentra:

1. El formulario de autenticación para ingresar a la aplicación.
2. Enlaces al formulario de registro de SC-COL.

En la figura 4 se observa:

3. El chat, con el que se pretende motivar la comunicación de las personas.
4. Tema sobre el que se hacen los aportes.
5. Comentario sobre el tema y debajo de él un link para citar el comentario.
6. Emotición usado para representar la emoción asociada con el comentario.
7. El avatar es un medio de representación de los usuarios en la aplicación.



Figura 4. Esta imagen muestra un tema y sus comentarios, el chat, los avatares y las emociones, elementos clave de esta aplicación.








Figura 5. Agregar comentario

En la Figura 5 se ve:

8. Caja de texto desde el que se escribe o cita un comentario.

**Tabla 1.** Resultados de Encuestas de Participantes en aplicativo.

Ítem	Tipo Pregunta	Respuesta						
1	¿Sitio con carga rápida?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>7</td><td>16%</td></tr> <tr><td>No</td><td>37</td><td>84%</td></tr> </table>	Si	7	16%	No	37	84%
Si	7	16%						
No	37	84%						
2	¿Facilidad de movimiento dentro de la aplicación?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>40</td><td>91%</td></tr> <tr><td>No</td><td>4</td><td>9%</td></tr> </table>	Si	40	91%	No	4	9%
Si	40	91%						
No	4	9%						
3	¿Facilidad para llegar a formulario de contacto?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>29</td><td>66%</td></tr> <tr><td>No</td><td>15</td><td>34%</td></tr> </table>	Si	29	66%	No	15	34%
Si	29	66%						
No	15	34%						
4	¿Facilidad de exploración interna?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>42</td><td>90%</td></tr> <tr><td>No</td><td>2</td><td>5%</td></tr> </table>	Si	42	90%	No	2	5%
Si	42	90%						
No	2	5%						
5	¿Ubicación adecuada de los menús?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>40</td><td>91%</td></tr> <tr><td>No</td><td>4</td><td>9%</td></tr> </table>	Si	40	91%	No	4	9%
Si	40	91%						
No	4	9%						
6	¿Acceso a diferentes apartados de la web?	 <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>Si</td><td>33</td><td>75%</td></tr> <tr><td>No</td><td>11</td><td>25%</td></tr> </table>	Si	33	75%	No	11	25%
Si	33	75%						
No	11	25%						

9. Emociones y valoración que se asocian con un comentario.

**5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.**

Para validar la utilidad de la herramienta se llevó a cabo una actividad con un grupo universitario conformado por seis personas de últimos semestres del programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca y dos grupos de 18 y 20 estudiantes del

programa de inglés del Colegio Mayor del Cauca. La actividad consistió en la interacción libre y directa con la aplicación. Luego de la actividad se le pidió a cada uno de los participantes que diligenciara una encuesta (ver Figura 5) cuya finalidad es evaluar la usabilidad de la aplicación. La tabla 1 presenta el resumen de las respuestas dadas por los usuarios de la aplicación.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

- Respecto al tiempo de carga del sitio web, el 84% de los encuestados dijo que es una aplicación rápida, mientras que el 16% dijo que la aplicación tardó mucho en cargarse.
- El 75% de los encuestados comprendió en un primer momento de qué trataba la web, mientras que el 25% tardó un poco más de tiempo
- ¿Es fácil moverse dentro de la aplicación? El 91% de los encuestados contestó que sí, mientras que el 9% contestó que no.
- ¿Es fácil encontrar el formulario de contacto? El 66% de los encuestados contestó que sí, mientras que el 34% tuvo dificultades para encontrarlo.
- En cuanto a la exploración interna del sitio web el 98% piensa que es fácil explorar la aplicación mientras que el 2% piensa que no.
- Para el 91% de los encuestados el menú de usuario se encuentra bien ubicado mientras que el 9% piensa que debería tener otra ubicación.
- Indagando sobre lo que más les gustó de la aplicación, 13 personas piensan que la facilidad que tienen para acceder a los diferentes apartados de la web, 9 personas afirmaron que el diseño del entorno, a 8 personas les gustó el tema de la web, 2 los colores utilizados y a otros 2 la libertad de expresión.
- En cuanto al diseño de la aplicación las 19 personas creen que el diseño es muy bueno, 6 piensan que es bueno, 6 que es normal y 4 afirman que es un diseño interesante.
- El 86% de los encuestados piensa que no hay elementos fuera de lugar en la aplicación mientras que el 6% sugiere que elementos como el logo, la combinación de colores y la presentación del tema en el foro deben ser mejorados.
- En cuanto a lo que menos les gustó, 12 de los encuestados dijeron que no había nada que les disgustara, 8 afirmaron que el diseño, 2 de los encuestados dijeron que la lentitud de la aplicación y otros 2 la falta de la opción editar/eliminar comentario.

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

La inclusión de elementos emocionales y colaborativos como chats, foros y emoticones, facilitó la interacción de los participantes, quienes escribieron y asociaron emociones con sus comentarios sobre un tema específico. También les fue posible comentar sobre aportes realizados por otros participantes para dinamizar este proceso que se evidencia en la creación de pequeñas discusiones alrededor de un tema.

La forma como fue diseñada la aplicación web Sentido Común-Colombia, hizo posible que la navegabilidad en la aplicación fuera una tarea sencilla y agradable para el 98% de los participantes de la actividad, lo que se hizo posible porque cada una de las secciones de la aplicación se encuentra a uno o dos clic de distancia.

En cuanto a los comentarios realizados por los participantes en los foros, se infiere que los participantes usaron palabras coloquiales propias de su generación, región y su entorno cultural. Esto supone una diferencia entre los comentarios hechos por los grupos participantes y hace evidente que incluso entre grupos de la misma región se encuentran distintos puntos de vista.

Fue muy importante la realización de una actividad previa con grupos de estudiantes de diferentes niveles educativos, que sirvió para ensayar la aplicación y determinar los aspectos positivos y los elementos que pueden ser mejorados.

Para el futuro es menester incluir nuevas funcionalidades para la aplicación Sentido Común-Colombia, como por ejemplo, editar comentarios, mecanismos de awareness y agregar imágenes al chat para mejorar la interacción entre los usuarios.

## REFERENCIAS

- [1] V. Khosla, «<http://tech.fortune.cnn.com/>,» 4 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://tech.fortune.cnn.com/2012/12/04/technology-doc-tors-khosla/>. [Último acceso: 1 Abril 2014].
- [2] E. T. Mueller, Commonsense Reasoning, Morgan Kaufmann, 2006.

- [3] «Epistemowikia, Revista «Hiperenciclopédica» de Divulgación del Saber,» 2 Abril 2014. [En línea]. Available: [http://cala.unex.es/cala/epistemowikia/index.php?title=Lógica\\_basada\\_en\\_sentido\\_común](http://cala.unex.es/cala/epistemowikia/index.php?title=Lógica_basada_en_sentido_común). [Último acceso: 10 Abril 2014]
- [4] «Mindpixel,» 27 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mindpixel&oldid=557035107>. [Último acceso: 20 Abril 2014].
- [5] «Cycorp,» [En línea]. Available: <http://www.cyc.com/platform/opencyc>. [Último acceso: 25 Abril 2013].
- [6] «Home, Open Mind Common sense (en),» [En línea]. Available: [www.common.media.mit.edu/en/](http://www.common.media.mit.edu/en/). [Último acceso: 15 Abril 2013].
- [7] «Sentido común Mente Abierta de Brasil (OM-SC-Br),» [En línea]. Available: [http://www.sensocomum.ufscar.br:8080/omcs/login\\_pt\\_BR.jsp](http://www.sensocomum.ufscar.br:8080/omcs/login_pt_BR.jsp). [Último acceso: 25 Marzo 2013].
- [8] «iAgents Commonsense,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/iagentcommonsense/home>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [9] «iAgents Commonsense - Virtual Pets,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/iagentcommonsense/games-for-commonsense-collection/virtual-pet-game>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [10] «iAgents Commonsense - Top 10,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/iagentcommonsense/games-for-commonsense-collection/top-10>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [11] «SenticNet,» [En línea]. Available: <http://sentic.net/sentics/>. [Último acceso: 11 Marzo 2014].
- [12] H. de Garis, «Merge Or Purge,» 19 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://hplusmagazine.com/2011/05/19/merge-or-purge/>. [Último acceso: 15 Abril 2014].
- [13] E. Cambria, Y. Xia y A. Hussain, «Affective Common Sense Knowledge Acquisition for Sentiment Analysis».
- [14] E. Cambria, A. Livingstone y A. Hussa, «The Hourglass of Emotions».
- [15] H. CHUNG, «GlobalMind - Bridging the Gap Between Different Cultures and Languages with Common-sense,» Septiembre 2006.
- [16] R. GUPTA y M. J. Kochenderfer, «Common Sense Data Acquisition for Indoor Mobile Robots,» 24 Julio 2004.

## ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA DE APROVECHAMIENTOS FORESTALES DE GUADUA

### SCIENTIFIC MANAGEMENT AT BAMBOO FORESTRIES

**Camilo Andrés Grajales-López, Admin.**

*Grupo de Investigación en Responsabilidad Social  
Escuela de Administración y Mercadotecnia del Quindío EAM  
Armenia, Colombia  
grajales\_camilo@hotmail.com*

(Recibido el 20-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** El propósito de esta investigación es hacer una comparación de la productividad de los corteros de guadua, tras la implementación del método de cosecha actual frente a la propuesta de un método de cosecha mejorado, a partir de la introducción de elementos de la administración científica. El estudio se hizo en dos cuadrillas y en cada una se observaron corteros en diferentes áreas hasta completar una muestra igual a 10 operarios. Como resultado del análisis, se concluye que los causantes externos de demoras son la presencia de ganchos con más de un metro de longitud, vegetación menor, guaduas secas, guaduas fallas; y que, por eliminar dichos causantes se puede aumentar la productividad de cada cortero en aproximadamente un 12,9 %.

**Palabras clave:** Administración científica; Aprovechamiento forestal; Estudio de tiempos; Guadua; Productividad.

**Abstract.** The purpose of this research is to compare the productivity of bamboo cutters after the implementation of the current crop method against a proposed harvest method improved since the introduction of elements of scientific management. The study was done in two teams and each cutters were observed in different plots or areas to complete a sample equal to ten. As a result we have that external cause delays hooks are the presence of more than 1 meter in length, lower vegetation, dry hooks, faults and that eliminating these causes can improve the productivity of each cane cutter by about 12.8 %.

**Keywords:** scientific management, forestry, time study, bamboo, productivity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En esta contribución técnica se pretende presentar los resultados de la realización de un estudio para la implementación de administración científica en aprovechamientos forestales de guadua. Específicamente, en este artículo se abordan la presentación de los siguientes objetivos:

- Registrar la variación de la productividad de los corteros de guadua de la muestra según la implementación o no del método *management* científico.
- Identificar los causantes externos de demoras que afectan el rendimiento de los corteros de guadua.
- Calcular el tiempo promedio para la socola y el desganche de guadua en las áreas de la muestra.
- Identificar la variación en el ingreso de los corteros tras la implementación del método *management* científico.
- Calcular, con base en el tiempo de la socola y el desganche, la inversión necesaria para adecuar áreas de 900 m<sup>2</sup>.
- Realizar análisis y recomendaciones para estudios futuros.

En la contribución técnica se valida la hipótesis experimental según la cual la productividad de los corteros de guadua aumenta si el área en la que realizará la labor de apeo y troceo se encuentra “limpia”. Para lo anterior se tiene en cuenta que durante un día de trabajo un cortero experimentado puede realizar socola y desganche en áreas de 900 m<sup>2</sup>.

Para los lectores de esta contribución técnica, será útil conocer algunas definiciones de las actividades de aprovechamiento forestal:

- Área limpia: área en la que se ha hecho previamente la remoción de vegetación menor, riendas y ganchos, así como guaduas secas y guaduas enfermas.
- Socola: consiste en retirar la vegetación menor, las guaduas secas y las guaduas enfermas.

- Guadua seca: es la guadua que está en pie y ha llegado al fin del ciclo biológico, ya no procesa nutrientes ni produce otras guaduas, sus propiedades físico mecánicas se vuelven deficientes y pierden funcionalidad y fines comerciales.
- Desganche: consiste en eliminar las riendas y ganchos que se desprenden de los culmos de guadua.
- Causantes externos de demora: aquellas causas que provienen del entorno en el sitio de trabajo y afectan la productividad de los operarios.

Este estudio se deriva del proyecto *Modelo de gestión de la cadena de custodia para Induguadua S.A.* con el objetivo de proponer un método de cosecha mejorado a partir de la introducción de lineamientos brindados por el *management* científico como respuesta a un diagnóstico hecho en el proyecto mencionado, frente a la necesidad de recursos en caso de llevar la guadua a niveles industriales que se generarían tras el uso de este material como materia prima para la producción de pisos y laminados en procesos de WSB (Wooden Strand Bamboo - fibras unidas de bambú en inglés). Se propone el método de cosecha mejorado con *management* científico para fortalecer la capacidad del recurso humano y avanzar hacia la industrialización de la guadua.

## 2. MARCO TEÓRICO

En los aprovechamientos forestales de guadua se llevan a cabo prácticas empíricas, en ocasiones esto hace que no se optimicen los tiempos de producción por ciclo y que se presenten demoras causadas por diferentes factores como movimientos innecesarios o exceso de obstáculos dentro del gradual, originados por la ausencia de manejo técnico. Por tanto, se plantean las actividades que deberá ejecutar el jefe de corte para preparar las áreas que lo requieran. Adicionalmente: “En la práctica no se aplica mucha tecnología en el proceso de aprovechamiento. Éste parte de conocimientos empíricos y ancestrales” [1].

El ciclo de la operación de cosecha está conformado por las siguientes actividades: identificación de culmos, apeo, dimensionamiento-troceo y producción de esterilla. Se tuvieron en cuenta dichas actividades



para el estudio de tiempos y movimientos y para tener una base en el momento de proponer un método de trabajo mejorado.

Según Cruz [2] la posibilidad de desarrollar una verdadera industria en este sector es una realidad, lo cual hace que se formulen ciertos interrogantes que deben empezar a examinarse para mejorar los procesos que actualmente se llevan a cabo en el sector y afrontar los retos de un nuevo modelo de negocio que se produciría tras la industrialización.

De otro lado, aunque para el sector guadua existe la norma de competencia laboral [3], en ésta no se proponen métodos de trabajo mejorados, por tanto, con este documento se pretende proporcionar una base para la formulación de nuevos métodos.

### 2.1. Diseño de métodos de trabajo

Una de las bases metodológicas para el diseño de métodos de trabajo son los aportes de Taylor [4], respecto a los principios del *management* científico, quien demostró con sus experimentos que los tiempos en los procesos se pueden reducir a partir de la identificación de aquellos movimientos que sean abolidos, así como la colaboración del supervisor para preparar o alistar el trabajo con al menos un día de anticipación y reducir los tiempos de los ciclos de producción.

Otro aspecto importante para el presente estudio es que, de acuerdo con Niebel et al. [5], los análisis de métodos se realizan con el fin de desarrollar mejoras mediante la simplificación de procesos y manejo de materiales; utilización de maquinaria y equipo de forma eficaz, por tanto, si se implementa un método de trabajo mejorado es posible no sólo aumentar la producción y reducir los costos, sino “(...) *incrementar el entusiasmo del operador a través de las mejoras a las condiciones de trabajo, la minimización de la fatiga y obtención de salarios más atractivos*” [5]. En el análisis de operaciones, la persona encargada debe hacer ciertas preguntas que le conducirán a identificar el porqué, el qué, el cómo, el quién, el dónde y el cuándo, en lo que respecta a la operación y, a partir de estas respuestas se simplifica el método de trabajo a través de las operaciones de eliminación, combinación y redistribución.

Según Drucker et al. [6], se debe usar el conocimiento para crear herramientas, productos, procesos y el diseño del trabajo, ya que las organizaciones deben estar preparadas para el cambio constante y la competencia globalizada.

Con el diseño de un nuevo método de cosecha de guadua se espera mejorar los niveles de motivación en los operarios, pues el hecho de encontrar un área de trabajo “limpia” conducirá a disminuir la fatiga y aumentará la productividad. Por ejemplo, afirma Konz [7]: “La motivación positiva puede ser interna (automotivación) o externa. Esta última puede provenir del trabajo mismo (labores enriquecidas)”, del mismo modo, expone que el trabajo se debe hacer de forma inteligente para que la gente trabaje al máximo, pero sin aplicar un trabajo duro, más bien con un esfuerzo razonable.

### 3. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es inductiva y cuantitativa, puesto que consistió en observaciones de campo para identificar las actividades que conformarían el diagrama de operaciones, así como los causantes externos de demoras en la cosecha de guadua.

De acuerdo con los trabajos de Gilberth et al. [8] se introdujo el estudio de los micromovimientos a partir del uso de cámara filmadora y un cronómetro para hacer un análisis detallado de los movimientos y tener un referente en el momento de introducirse en el estudio de tiempos. Así mismo, para las observaciones en campo, se tuvieron en cuenta los conceptos de macro y microprocesos [9], puesto que para establecer métodos mejorados, se hizo evidente la necesidad de hacer un análisis minucioso de las tareas que hacen parte del corte de guadua y de los tiempos, pues al observar a los corteros se identificaron actividades que causan demoras en los ciclos de producción, para, sucesivamente, plantear los nuevos métodos que contribuyan en un aumento de la productividad de los operarios y en una disminución de la fatiga. En este sentido, también fueron tenidos en cuenta los aportes de García [10] respecto al estudio de movimientos: “Por medio del estudio de movimientos se puede analizar cualquier trabajo para lograr la simplificación del mismo.” Además, uno de los objetivos del estudio de métodos es economizar el esfuerzo humano y reducir la fatiga innecesaria, así como hacer el trabajo más fácil, rápido, sencillo y seguro.



Con base en lo propuesto por Krajewski et al. [11], como técnica básica para analizar procesos se usó el diagrama de Krick [12], por ser un elemento que permite visualizar la transformación en una operación y que, según [12], las ayudas descriptivas como el diagrama de procesos indican y facilitan la investigación de mejoras de método.

Con la ejecución del experimento se pudo registrar la productividad de los operarios de la muestra con dos escenarios posibles: uno, con la introducción de componentes del *management* y el otro con el método actual de cosecha, por tanto, para cada cortero observado se acondicionó un área para la representación de los dos escenarios. Una porción del área **con management** será aquella en la que se realizó socola, desganche y se retiraron las guaduas secas y guaduas fallas. Mientras que el área **sin management** será aquella en la que no se ha hecho una intervención previa para facilitar la labor del cortero. Esta última área representa las condiciones actuales del sitio de trabajo de los corteros de guadua.

Como metodología de investigación se siguieron las etapas para poner en funcionamiento un sistema de organización del trabajo que, según [4], son las siguientes:

1. Hallar 10 ó 15 obreros (si es posible en distintas empresas y de diferentes regiones) que sean particularmente hábiles en la ejecución del trabajo por analizar.
2. Definir la serie exacta de movimientos elementales que cada uno de los obreros lleva a cabo para ejecutar el trabajo analizado, así como los útiles y materiales que emplea.
3. Medir, con un cronómetro, el tiempo necesario para hacer cada uno de estos movimientos elementales y elegir el modo más simple de ejecución.
4. Eliminar todos los movimientos mal concebidos, los lentos o inútiles.

También se siguieron los pasos señalados por [10] para crear un nuevo método de trabajo:

1. Seleccionar el trabajo que debe mejorarse.
2. Registrar los detalles del trabajo.
3. Analizar los detalles del trabajo.
4. Desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo.
5. Formar a los operarios en el nuevo método de trabajo.
6. Aplicar el nuevo método de trabajo.

Inicialmente se tomaron mediciones previas de los tiempos destinados al apeo y troceo de piezas, con lo que se calculó el número de observaciones necesarias para el estudio de tiempos.

La ejecución del experimento para la validación del *management* científico de aprovechamientos forestales de guadua consistió en seleccionar dos cuadrillas con operación en un predio diferente cada una. En la primera cuadrilla se observó a tres corteros, mientras que en la segunda fueron siete. En general, la metodología para este estudio fue la siguiente:

- Tras observación en campo, se identificaron los causantes externos de demoras en la operación.
- Se tomó una muestra de 10 corteros de dos cuadrillas.
- Para cada cortero observable, se asignó un área experimental de 900 m<sup>2</sup>, que fue dividida en dos franjas de 450 m<sup>2</sup> cada una.
- Cada franja de 450 m<sup>2</sup> estuvo delimitada con estacas y culmos biches marcados con aerosol de color rojo.
- En cada área experimental una de las franjas con guadua fue intervenida para eliminar vegetación menor, ganchos o riendas, culmos secos y guaduas fallas. En la Figura 1 se muestran los tiempos invertidos en la preparación de las áreas con los lineamientos del *management* científico para llevar a cabo las observaciones y mediciones correspondientes.

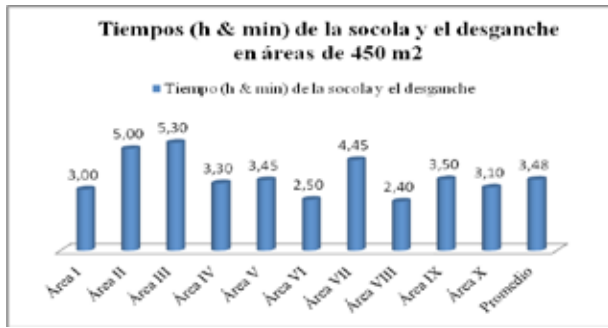


Figura 1. Tiempos de la socola y del desganche (áreas de 450m<sup>2</sup>), expresados en horas y minutos.

Tabla 1. Descripción de las características de cada guadua

Área de guadua	Cuadrilla 1	Cuadrilla 2
Nombre del predio	Playa Rica	La Marina
Departamento	Quindío	Quindío
Municipio	Barcelona	La Tebaida
Altitud	1536 msnm	1200 msnm
Variedades de guadua	Cebolla y Macana	Cebolla y Castilla

En la Tabla 2 se muestra un consolidado de los datos de cada área en guadua observada:

Tabla 2. Características de cada área observada.

Área	Área I	Área II	Área III	Área IV	Área V	Área VI	Área VII	Área VIII	Área IX	Área X
Variedad de guadua	Cebolla	Macana	Macana	Cebolla	Castilla	Castilla	Castilla	Castilla	Castilla	Cebolla
Presencia de ganchos	Baja	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja
Presencia de maleza	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Alta	Moderada

En la preparación de las áreas para la validación del método de cosecha mejorado se pudo establecer el tiempo de la socola en áreas de 450 m<sup>2</sup>, y se identificó que el tiempo mínimo que requiere un trabajador experimentado y hábil para ejecutar la labor es de 2 horas y 40 minutos, cuando las condiciones del área son favorables para el manejo, mientras que el tiempo máximo es de 5 horas y 30 minutos cuando las condiciones del área para el manejo son desfavorables.

- Cada operario de la muestra fue observado en un área **sin management** y en un área **con management**.
- Por cada operario, las observaciones iniciaron en el área **sin management** y cuando estaba cosechada esta área se hizo transición al área **con management**.

- El registro de la producción fue diario y se expresó en unidades de los diferentes tramos comerciales obtenidos en el aprovechamiento.
- La manera como se demostró y se representó las variaciones en la productividad, tras haber introducido la colaboración del jefe de corte para “preparar el área de trabajo”, fue por medio de análisis comparativos para reflejar en figuras y cuadros los incrementos en la productividad.

Hay una correlación directa entre la variedad de guadua y la presencia de ganchos y vegetación menor puesto que, de acuerdo con la variedad será la longitud de los ganchos, y se nota una relación entre el tipo de vegetación menor y la variedad de guadua. Las correlaciones se pueden observar en la Tabla 2. Así mismo, en la Figura 2 se ven las condiciones de trabajo de la cuadrilla 1 en las tres áreas vinculadas al experimento, lo que da cuenta de la diversidad en los entornos de observación, con el fin de capturar datos que sirvan como referente y con las diferentes condiciones que frecuentemente se dan en las áreas para el aprovechamiento forestal de la guadua.

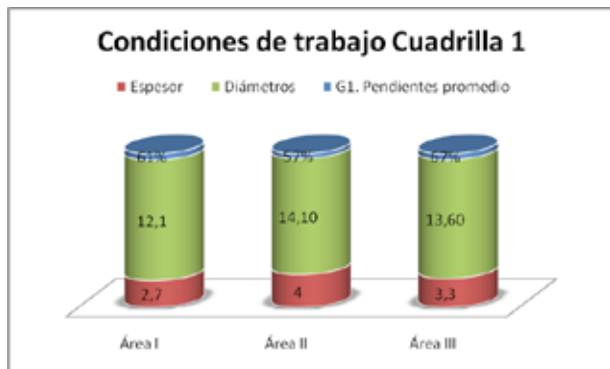


Figura 2. Datos de las variedades de guadua en la cuadrilla 1

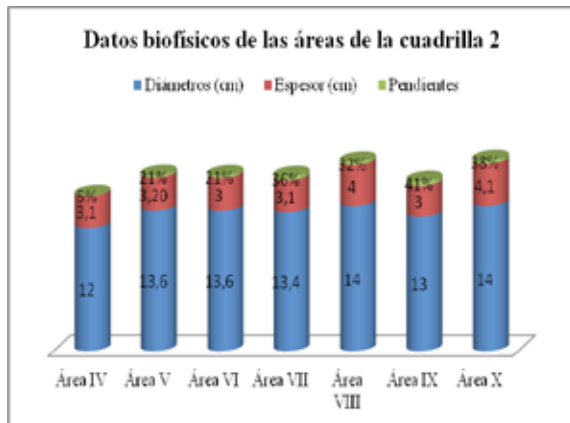


Figura 3. Datos de las variedades de guadua en la cuadrilla 2

Las áreas observadas del guadua aprovechado por la cuadrilla 1, coinciden con tener pendientes moderadas que oscilan entre el 50% y 70%. El espesor está correlacionado con el diámetro y la variedad de la guadua y se presenta el menor espesor para la variedad Cebolla y el mayor para la guadua Macana de 14,1 cm de diámetro promedio. En la Figura 3, por su parte, se encuentran los datos biofísicos identificados en la cuadrilla 2.



Figura 4. Marcación de culmos para identificar y delimitar área

#### 4. CASO DE ESTUDIO

Luego de hacer las observaciones en campo para identificar los causantes externos de demoras en la cosecha de guadua, se acondicionaron las áreas de la cuadrilla 1, como se observa en las figuras 4 y 5, para registrar la producción de cada tramo comercial en unidades cuando se ejecuta cada método de trabajo propuesto para esta investigación. s.

Cada área fue medida con un decámetro hasta establecer los 900 m<sup>2</sup> y se marcaron culmos biches con el número correspondiente al área según el orden consecutivo (1,2,3,...), así como fue delimitada el área con *management* y el área sin *management* asignada a cada operario.

En las áreas I, II y III se aplicó un procedimiento que consistió en marcar todos los culmos sobremaduros y algunos maduros para el aprovechamiento, suponiendo que así se obtendría una disminución en los tiempos de identificación. No obstante, en el ejercicio se pudo evidenciar que esta práctica no fue útil para los corteros, puesto que estos deben analizar muy bien el entorno de cada culmo antes del apeo. Este procedimiento fue suspendido a partir del área IV por no representar beneficio alguno para los corteros.





**Figura 5.** Preparación áreas observables



**Figura 7.** Área I, sección con *management*.



**Figura 6.** Área experimental I, sección sin *management*



**Figura 8.** Área II, sin *management*, vista desde una ubicación externa al guadual

Como se observa en la figura 5, la preparación de las áreas observadas consistió en realizar socola y desganche a los 450 m<sup>2</sup> del área con *management* y estuvo a cargo del jefe de corte en ambas cuadrillas de la muestra.

En la figura 6 se muestra el área I en donde no se realizó socola ni desganche, allí la variedad de guadua es Cebolla, por tanto la longitud de las riendas o ganchos rara vez supera los 100 cm. Como se observa en la figura 6, la vegetación menor presenta una altura baja y es de fácil remoción.

En el área II por su parte, se encuentra la variedad de guadua Macana, esta es una guadua de mayor espesor y presenta riendas o ganchos que pueden superar los 4 metros de longitud.

En la figura 8 se observa que la variedad de guadua Macana presenta un alto índice de vegetación menor y esta crece a una altura superior a los dos metros, además, es común encontrar lianas y enredaderas.



**Figura 9.** Área III, sin *management*

En la figura 9 se puede apreciar el área III, la que tuvo mayor presencia de culmos seco, por lo que de no haber sido extraídos estos culmos por el jefe de corte, los tiempos del ciclo de corte hubieran sido mayores y por lo tanto la productividad del cortero hubiera sido menor.



Figura 10. Área III, con *management*.

En la figura 10 se muestra el área III luego de haber aplicado el *management*, para realizar las observaciones y mediciones de la productividad del cortero. El área III fue una de las áreas encontradas con una alta presencia de culmos secos, y se identificó que esto se da debido a la ausencia de manejo técnico en los guaduales.

## 5. ANÁLISIS

La figura 11 muestra la productividad de cada uno de los diez corteros observados durante el experimento. Los resultados que aparecen en la figura son la sumatoria de unidades obtenidas por los corteros para los siguientes tramos comerciales: Cepa de 4 m, vigas de 4,50, 5,50, 6, 6,50, 7 y 8 metros; y esterillas. Se tuvo en cuenta estos tramos comerciales, por ser los que se obtienen con mayor frecuencia al realizar el apeo y troceo de un culmo de guadua. De igual manera, en la figura 11 se puede apreciar que todos los corteros observados presentaron una mayor productividad en las áreas donde se aplicó el *management*, cuyas variaciones fueron entre el 5.6 % y el 39.7 % en la cantidad de tramos obtenidos frente a las cantidades obtenidas en el área sin *management*.

La figura 12 muestra la cantidad de guaduas secas y guaduas fallas extraídas en cada una de las áreas observadas, teniendo en cuenta la aplicación del *management*. En la figura 12 se indica que las áreas I y III fueron las que mayor porción de guaduas secas y guaduas fallas presentaron, a pesar de ser un guadua que se había aprovechado tres años atrás.



Figura 11. Resultados cuantitativos del experimento *management* científico



Figura 12. Guaduas secas y guaduas fallas extraídas de cada área observada

La ausencia de manejo técnico ha causado que en los turnos de cosecha, los operarios encuentren dificultades de acceso a los rodales teniendo que realizar socla y desganche para poder aprovechar el material guadua, causándoles tiempos muertos o improductivos, esto genera menor productividad comparándola con áreas donde hay baja presencia de vegetación, riendas y guaduas secas o enfermas que deben ser removidas.

## 6. CONCLUSIONES

- La variación promedio tras la implementación de los principios del *management* científico en aprovechamientos forestales de guadua es de 24 unidades distribuidas en los principales tramos comerciales, que es lo mismo a un 12,9 % de incremento en el rendimiento diario de los corteros.
- Dicha variación en el rendimiento, representa en promedio un 15 % de aumento en el ingreso salarial de los operarios.

- El tiempo promedio para realizar socola y desganche en áreas de 450 m<sup>2</sup> con guadua es de 3 horas y 48 minutos.
- Se puede fijar un jornal (\$ 35.000) como costo estándar para el manejo técnico de áreas de 900 m<sup>2</sup>.
- No se le sugiere a los productores que realicen manejo técnico en áreas con presencia de la variedad de guadua Cebolla, ya que esta variedad no presenta riendas o ganchos tan largos como las otras variedades, y la vegetación menor es de fácil y rápida eliminación.
- La metodología para el mejoramiento del método de cosecha de guadua dispuesto en este artículo, se debe aplicar en áreas con variedad de guadua Castilla y Macana (principalmente), pues estas ofrecen un ambiente de trabajo duro para los corteros.
- Una segunda fase de esta investigación se podrá ejecutar en torno al mejoramiento de las herramientas de trabajo para el apeo y troceo de culmos de guadua.

## REFERENCIAS

- [1] H. J. Covalada, *La Cadena de la Guadua en Colombia- Una Mirada Global de su Estructura y Dinamica*. Bogotá: Agrocadenas, 2005.
- [2] H. Cruz. *Producción De Madera Ingenierizada A Nivel Industrial Utilizando Como Materia Prima el Bambú*. Próximo a editarse. Monterrey, Nuevo León, México, 2010. Disponible en <http://bambuguaduapremier.com/WebEng/maderaingenierizada.php>
- [3] SENA. *Norma de Competencia Laboral Aprovechar el gradual según normas técnicas ambientales*, Código 270411005, Versión 1. Nov 2007.
- [4] F. W. Taylor. *The Principles of Scientific Management*. Barcelona: ORBIS, S.A, 1947.
- [5] B. W. Niebel and A. Freivalds. "Ingeniería industrial-Métodos, estándares y diseño del trabajo". México: McGraw-Hill. 2009.
- [6] P. F. Drucker, and J. A. Maciariello. *Drucker para todos los días, 366 días de reflexiones clave para acertar en sus negocios*. Ed. norma. 2006.
- [7] S. Konz. "Diseño de sistemas de trabajo-Principios de Administración". México: LIMUSA Noriega Editores. p. 373. 2006.
- [8] F. B. Gilberth and Gilberth, L. M. "Applied Motion Studio". New York: Sturgis & Walton. 1917.
- [9] D. Galloway. "Mejora continua de procesos- cómo rediseñar los procesos con diagramas de flujos y análisis de tareas". Barcelona: Gestión.2000.
- [10] R. García. "Estudio del trabajo-Ingeniería de métodos y medición del trabajo". México, D.F: McGraw-Hill. 2005.
- [11] L. J. Krajewski and L. P. Ritzman, "Administración de Operaciones-Estrategia y análisis". México: Pearson Educación. Quinta edición. pp. 5-21. 2000.
- [12] E. Krick. "Ingeniería de Métodos". México: LIMUSA.1991.

# REFLEXIÓN ANÁLITICA E INTERPRETATIVA

## LEGO MINDSTORMS NXT: JUEGO COMO HERRAMIENTA DE APRENDIZAJE DE PROGRAMACIÓN

### LEGO MINDSTORMS NXT: GAME AS A TOOL FOR PROGRAMMING LEARNING

**Leidy Diana Jiménez-Pinzón, MSc(C)**

*Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
ldjimenezp@unal.edu.co*

**Rafael Esteban Arango-Sánchez, MSc(C)**

*Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
raearangosa@unal.edu.co*

**Jovani Alberto Jiménez-Builes, PhD.**

*Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
jajimen1@unal.edu.co*

(Recibido el 20-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** LEGO Mindstorms es un juego que se usa como herramienta para el aprendizaje de distintas áreas de conocimiento. Una persona puede aprender acerca de programación mediante distintos lenguajes y aplicaciones para compilar el código de la solución planteada y resolver una situación particular. Sin embargo, la enseñanza de programación es sólo un fundamento teórico y poco práctico. Por estas razones, se pretende enseñar a programar mediante un lenguaje sencillo y una plataforma que permita visualizar el código gráficamente y validarlo específicamente con las instrucciones programadas sobre un robot.

**Palabras clave:** NXT-G; Aprendizaje; Robótica; LEGO Mindstorms NXT

**Abstract.** LEGO Mindstorms is a game used as a tool for learning different areas of knowledge. A person can learn about programming using different languages and applications that allow that the code of the proposed solution to a particular situation can be compile. However, the teaching of programming is only a theoretical and impractical. Therefore it is intended to teach programming using a simple language and a platform to graphically display the code and validate the code while the user specifically seeing the instructions on a robot.

**Keywords:** NXT-G; Learning; Robotics; LEGO Mindstorms NXT.



## 1. INTRODUCCIÓN

La robótica en un entorno educativo se convierte en un recurso que facilita el aprendizaje y desarrollo de competencias como la socialización, creatividad e iniciativa. Además, permite que un estudiante responda eficientemente a los cambios que el mundo actual le presenta. Al aplicar la robótica como metodología de aprendizaje, se aprecia que los estudiantes aprenden de la disciplina como tal y adicional a resolver problemas con propuestas distintas y sus soluciones de forma interactiva [1].

Trabajar en robótica requiere de conocimiento en áreas como matemática, física, electrónica, electro-neumática y programación, entre otras. Se deben tener recursos físicos, conceptuales y pedagógicos para llevar a cabo su desarrollo [2]. A pesar de que inicialmente la plataforma LEGO Mindstorms se propuso como un juego para niños de 10 años en adelante, esto por su interfaz gráfica para programar, la cual es didáctica y permite que el usuario interactúe intuitivamente con ella y ha logrado un interés más avanzado en entornos educativos [3].

Algunos trabajos analizan la plataforma para impulsar el desarrollo de habilidades tecnológicas entre estudiantes y profesores; otros enseñan programación a partir de la plataforma mediante actividades lúdicas; algunos autores enfatizan en el estudio de la ingeniería mecánica, mecatrónica [4], matemática [5] y hasta en el área de conocimiento que incurre en el trabajo del desarrollo cognitivo de niños con discapacidades motoras [6].

En este trabajo se presenta el avance de un proyecto con el equipo LEGO Mindstorm en su lenguaje predeterminado como metodología de aprendizaje de programación y se reconocen los distintos sensores y actuadores con el propósito de que el estudiante adquiera y desarrolle, en la medida de su aprendizaje, aptitudes y conocimientos no sólo en el área de robótica sino en la lógica de programación.

El artículo se divide de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta la metodología del trabajo que corresponde a la descripción del equipo LEGO Mindstorm NXT. En la sección 3 se muestra el desarrollo del proyecto propuesto y el código fuente del mismo y, en la última sección, se hacen las conclusiones y el trabajo futuro.



Figura 1. Componentes del LEGO Mindstorms NXT [7]

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Un robot es definido como un objeto programable, multipropósito y controlado en tres o más ejes que pueden ser fijados en un lugar o en movimiento para el uso de aplicaciones de automatización industrial, según (*International standard ISO 8373*). Los robots pueden ser programados para exhibir diferentes niveles de autonomía con respecto al entorno y al usuario y depende directamente de la finalidad con la que se programa [5].

La plataforma LEGO Mindstorms es un juego de robótica propuesto por la compañía LEGO con la colaboración del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) [3], con el objetivo de complementar sus estudios acerca del aprendizaje de los niños y adolescentes para luego mejorar el producto de acuerdo con los resultados. Después de esta fase, se desarrolló el ladrillo programable con la finalidad de que *Legó Mindstorms® Education* se convirtiera en una metodologías de aprendizaje para que los estudiantes logren diseñar y construir programas verificables mediante los movimientos del robot y que el niño proponga nuevas propuestas [2].

El sistema LEGO Mindstorms NXT está compuesto por cuatro tipos de componentes principales (ver Figura 1): el ladrillo o cerebro NXT (enumerado con el 1), servomotores (enumerado con el 6), sensores (enumerados del 2 al 5) y las fichas Lego [7]. Como se puede observar en la Figura 1, el ladrillo tiene tres puertos de salida para servomotores (A, B y C), mientras tiene 4 puertos de salida para los sensores que se desean utilizar (luz, ultrasonido, sonido, contacto, etc.).

**Tabla 1.** Características del ladrillo NXT

NXT	
Procesador	Atmel 32-Bit ARM AT91SAM7S256 48 MHz
Memoria	256 KB Flash
	64 KB RAM
Procesador secundario	Atmel 8-Bit AVR, ATmega48
	8 MHz
	4 KB Flash-RAM
	512 Byte RAM
Pantalla	Monocromática- LCD 100 x 64 pixel
Entradas (sensor) puertos	4 Análoga or Digital (9600 b/s)
Salidas (sevomotor) puertos	3 (w/ encoders)
Conector PC	USB 2.0 (12 Mb/s)
Bluetooth	No es compatible con apple
Tarjeta SD	
USB maestro	
Batería recargable	Lithium-ion

El kit del juego tiene 519 piezas técnicas e incluye la de los componentes de procesamiento, sensórica y actuación, cuenta con piezas mecánicas para realizar diversas funciones como transmisión de potencia mecánica a través de engranajes; también tiene un sistema de comunicación vía USB y víaBluetooth [2].

En la Tabla 1 se especifican las propiedades del ladrillo o cerebro programable del LEGO NXT [8]:

El ladrillo incluye el lenguaje gráfico (NXT-G) para la creación y descarga de programas NXT. La interfaz de usuario (GUI) usa *National Instrument LabVIEW* [9], como se puede observar en la Figura 2. Este lenguaje funciona por medio de bloques con funcionalidades propias de cada componente que tiene el kit de Lego, estos bloques se conectan y producen rutinas que luego deben ser transferidas o cargadas al procesador del robot para que realice la ejecución.



**Figura 2.** Interfaz de usuario del entorno de programación NXT

**Tabla 2.** Sensores del LEGO Mindstorms NXT

	Descripción
 Touch Sensor	Este sensor tiene valor 0 cuando no está presionado, de lo contrario, cambia su valor a 1.
 Sound Sensor	Este sensor retorna un porcentaje que indica el volumen de recepción.
 Light Sensor	El robot con este sensor sólo lee colores en escala de grises y distingue entre lo claro y lo oscuro, lee la intensidad de una sala y mide la intensidad de claridad sobre colores y retorna un porcentaje.
 Ultrasonic Sensor	Este sensor retorna la distancia en centímetros del objeto que está dentro de su rango.

En la Tabla 2 se visualizan los sensores incorporados en el kit, aunque existen más sensores que facilitan la lectura de datos del entorno en el que se encuentra el robot, como el giroscopio, por ejemplo [3]:

### 3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta forma de aprendizaje, se estableció la metodología de investigación-acción participativa, la cual presenta características particulares que la distinguen de otras metodologías con enfoque cualitativo; por ejemplo, en la forma como se aborda el objeto de estudio, las intencionalidades o propósitos, el accionar de los actores involucrados en la investigación, los diversos procedimientos que se desarrollan y los logros que se alcanzan. Las fases de esta metodología implican un diagnóstico, la construcción de planes de acción, la ejecución de dichos planes y la reflexión permanente de los involucrados en la investigación para redimensionar, reorientar o replantear nuevas acciones en atención a las reflexiones realizadas [10].

A continuación se describen las fases propuestas para esta metodología y aplicadas al trabajo expuesto en este artículo [10].

Fase I: descubrir temática. En esta fase se define que el objeto de estudio es el aprendizaje de los investigadores en programación mediante el juego LEGO Mindstorms. En la literatura se ha encontrado que este juego sirve como herramienta educativa de varias áreas de conocimiento y puede aplicarse con investigadores de todas las edades y condiciones.

Fase II: construcción del plan de acción. En esta fase los investigadores, docente y estudiantes, se reúnen con el fin de compartir conceptos básicos de programación y una clase teórica sobre ciclo y condicionales por cuanto algunos estudiantes no tienen conocimiento previo sobre programación. Los estudiantes que sí conocen la teoría refuerzan sus conocimientos previos. A partir de ello, se expone el proyecto y el docente explica claramente las condiciones y especificaciones necesarias para que los investigadores empiecen a trabajar y se definen horarios de disponibilidad de los robots para realizar las pruebas y las fechas de entrega.

Fase III: ejecución del plan de acción. En esta fase se encuentran organizados los grupos de trabajo y sus horarios para trabajar en el proyecto. Adicionalmente, se trabaja sobre el código del proyecto y en esta fase los grupos aprovechan para realizar cambios sobre el código que crean pertinentes de acuerdo con los resultados progresivos que se visualizan a medida que avanzan en el proyecto.

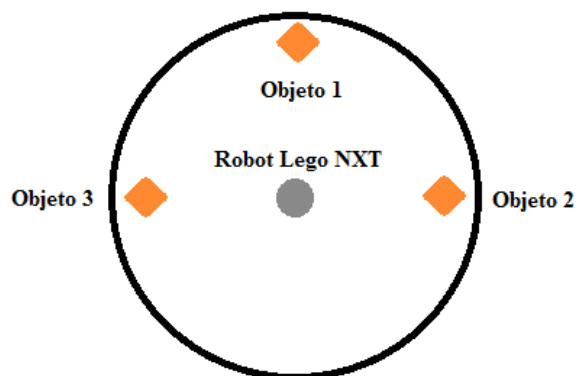


Figura 4. Ubicación del robot y los objetos de la prueba

Fase IV: reflexión permanente. Como los investigadores de esta metodología son actores activos de la investigación, deben tener un pensamiento crítico para evaluar sus progresos y la información que reciben durante la investigación, es decir, en los procesos de aprendizaje teórico, codificación, categorización de la información y la entrega final del proyecto. Para lograr este objetivo es preciso tener en cuenta las acciones que realizan, reflexionar sobre lo que hacen y transformar las ideas, en el caso de que sea necesario.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La programación hecha con este lenguaje requiere de un mecanismo de prueba y error porque, al plasmar en código lo que el robot debe ejecutar, se ha de cargar al procesador cada vez que al código se le realice alguna modificación y se requiera validar lo que está programado. Adicionalmente, la aplicación del conocimiento de otras áreas debe contar con distintos márgenes de error que, con la experiencia, irán desarrollando la habilidad para detectar la fricción de la superficie en la que se está poniendo a correr el robot

La finalidad de este proyecto era usar el juego LEGO Mindstorms como herramienta de aprendizaje en el área de programación, para lo cual se propuso la entrega de un proyecto. El proyecto consistía en hacer un robot Lego Sumo con el objetivo de sacar de su área, enmarcada por una línea negra, los objetos sin importar su posición e iniciar el robot en el centro de su área de movimiento (ver Figura 4).

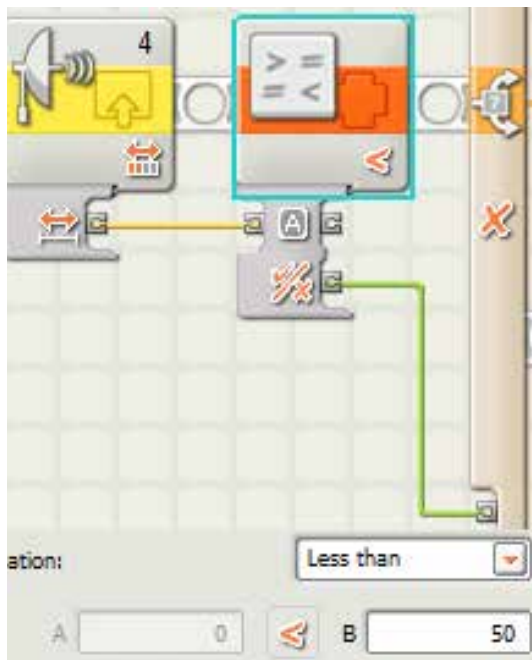


Figura 5. Sensor de ultrasonido programado con una distancia menos de 50 centímetros.

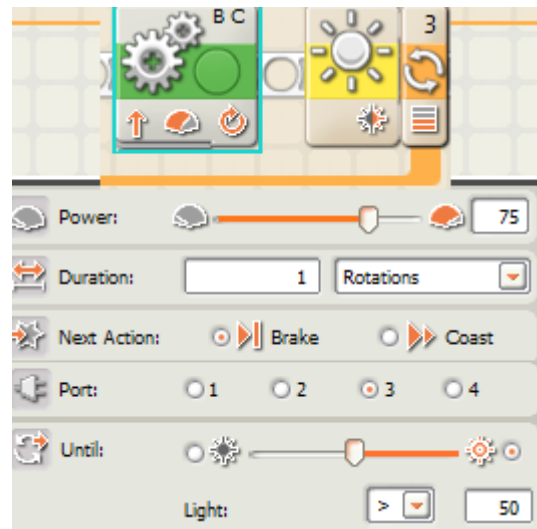


Figura 6. Configuración de los servomotores (B y C) y el sensor de luz

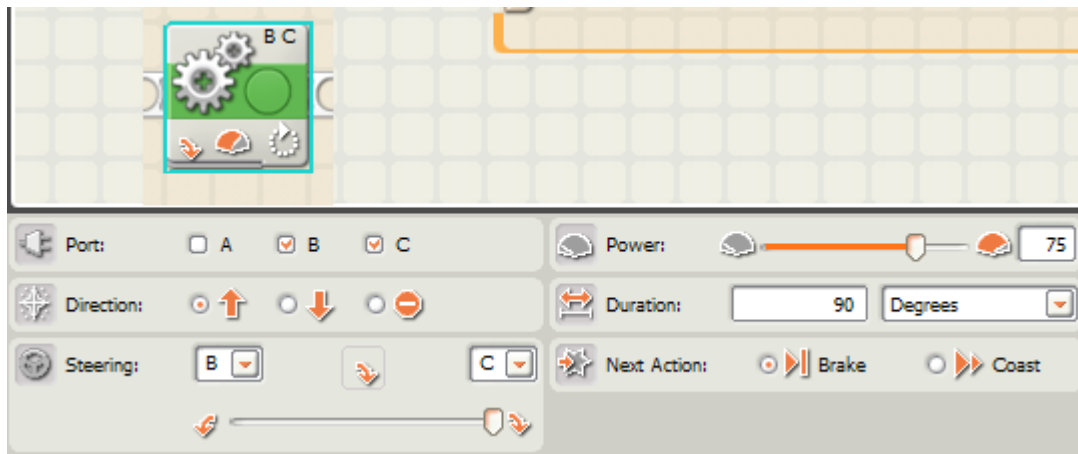


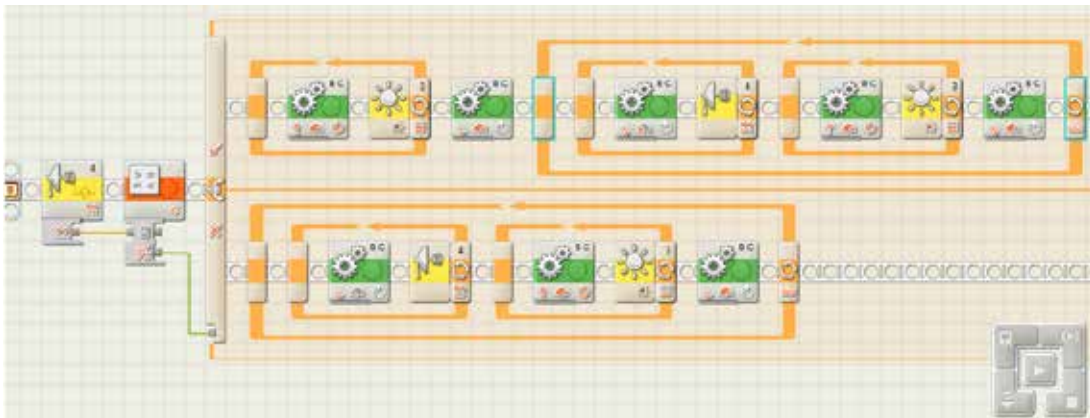
Figura 7. Configuración de los servomotores B y C

Tabla 3. Resultados del tiempo por grupo

Grupo	Tiempo (Segundos)
1	12
2	20
3	23
4	28
5	30
6	34

Como los grupos no conocían la situación de la prueba, los sensores debían ser calibrados, por ejemplo, el sensor de luz se debía calibrar cada vez que el grupo iba a ejecutar el algoritmo puesto que variaba la intensidad de luz del lugar en el que se desarrolló la prueba. De igual forma, el sensor de ultrasonido se debía calibrar para capturar la distancia de los objetos que se debían sacar del área.





**Figura 8.** Código del robot Sumo con menor tiempo invertido

A continuación se muestran los resultados de los tiempos de los grupos (ver Tabla 3) que participaron en este proyecto y la solución del grupo (ver Figura 8) que menor tiempo obtuvo en sacar los objetos del área.

El código ganador describe lo siguiente: si el sensor de ultrasonido encuentra un objeto a menos de 50 centímetros (ver Figura 5) en la posición y dirección en la que se encuentra entonces avanza hasta que el sensor de luz capture la intensidad de la línea negra (ver Figura 6), luego, en el punto donde paró gira 90 grados hacia la derecha (ver figura 7) y entra en un ciclo infinito donde gira sobre su propio eje mientras identifica otro objeto, cuando lo encuentra avanza hasta que llegue a línea negra y, por último, gira, esto se cumplirá hasta que saque todos los objetos de su área. Si no identifica un objeto en esa dirección entonces entra en un ciclo infinito y gira sobre su propio eje mientras identifica otro objeto, cuando lo encuentra avanza hasta que llegue a línea negra y gira, esto se cumplirá hasta que saque todos los objetos de su área.

#### 4. CONCLUSIONES

La robótica comprende el estudio de tres ramas como la mecánica, la electrónica y la programación. Esto se puede evidenciar en el LEGO Mindstorms NXT mientras ocurre el ensamble del robot, el uso de sensores y servomotores y la programación de los mismos.

LEGO Mindstorms NXT ofrece posibilidades de diseño en lo que se refiere al software y al hardware, y presenta un gran número de sensores que facilitan la interacción del robot con su entorno, servomotores y distintos lenguajes de programación.

El aprendizaje de programación, por medio del juego LEGO Mindstorms, compromete al estudiante en el desarrollo de ideas o posibles soluciones con conceptos sobre ciclos y condicionales vistos en clase. Dicha plataforma parece ser adecuada para que los estudiantes construyan pequeños sistemas programables.

El juego LEGO Mindstorms sirve como herramienta de aprendizaje de muchas áreas de conocimiento externas a la informática y, para ser aplicada en esta área, se requiere de conocimientos previos de geometría, matemática y física para desarrollar la solución a una situación particular.

#### REFERENCIAS

- [1] Bravo Sánchez F. A. y Forero Guzmán A. La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, vol. 13, núm. 2, pp. 120-136, 2012.
- [2] Osorio, J. A. C., Salazar, O. A., & Vargas, J. A. M. (2009). El entorno LEGO Mindstorms en la introducción a la robótica y la programación. Scientia et Technica, 1(41).

- [3] NXT User Guide – Lego. LEGO Mindstorms Education NXT.
- [4] Calvo, I., & Perianez, G. Uso conjunto de la plataforma LEGO Mindstorms NXT y metodologías PBL en informática industrial. *Ikastorratza e-Revista de didáctica*, vol. 6, pp. 2-18, 2010.
- [5] Lamoyi Villamil L: B: La robótica Lego Mindstorms®: un recurso didáctico para fortalecer el pensamiento lógico matemático. *Perspectivas docentes*, vol. 47, pp. 12-18, 2012.
- [6] Cook, A., Encarnação, P., & Adams, K. Robots: Assistive technologies for play, learning and cognitive development. *Technology & Disability*, vol. 22, no. 3, pp. 127-145, 2010.
- [7] Sofronia, R., Diaconu, A., & Pruna, A. Bluetooth control communication for Nxt Robots. *Annals of Daaam & Proceedings*, pp. 1339-1340, 2009.
- [8] Danahy, E., Eric, W., Brockman, J., Carberry, A., Shapiro, B., & Rogers, C. B. LEGO-based Robotics in Higher Education: 15 Years of Student Creativity. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2014.
- [9] Langdon, M. M. Child's play [learning robotics]. *Engineering & Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 42-45, 2009.
- [10] Colmenares A. M. Investigación-acción participativa: una metodología integradora del conocimiento y la acción. *Voces y Silencios: Revista Latinoamericana de Educación*, vol. 3, no. 1, pp. 102-115, 2012.

## UNA PLATAFORMA EN EMSO® PARA MODELAR PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN PLANTAS DE PROCESOS

### AN EMSO® PLATFORM TO MODEL FRICTION LOSSES IN PROCESS PLANTS

**Jenny Lorena Díaz-Castañeda, Ing.**

*Grupo de Investigación en Procesos Dinámicos-Kalman  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
jldiazc@unal.edu.co*

**Hernán Darío Álvarez-Zapata, PhD.**

*Grupo de Investigación en Procesos Dinámicos-Kalman  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia  
hdalvare@unal.edu.co*

(Recibido el 20-04-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** Este trabajo describe el desarrollo de una plataforma de programación con el uso de EMSO (Environment for Modeling, Simulation and Optimization) para el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías. La plataforma tiene modelos Base o Padre que describen el comportamiento de un tramo recto de tubería, los diferentes accesorios y demás elementos que conforman un sistema de transporte. Tales modelos Padre se pueden conectar mediante un *FlowSheet* de acuerdo con el diagrama de proceso que se requiera. De este modo, se determinan las pérdidas totales de energía por fricción en un sistema de transporte de fluidos. La plataforma contiene tuberías y el conjunto de accesorios y máquinas impulsoras más frecuentes en plantas de procesos.

**Palabras clave:** Pérdidas por fricción; Tramos y accesorios de tubería; Transporte de fluidos; Plantas de proceso; EMSO.

**Abstract.** This work describes the development of a programming platform using EMSO (Environment for Modeling, Simulation and Optimization) for friction losses calculations in pipe assemblies. The platform is based on father models for describing the behavior of a straight pipe and its different fittings. Those father models can be connected through a flowsheet according to the required process diagram. In this way, the total energy losses by friction during fluid flow through transport system can be calculated. The platform contains tube-pipe and a set of fitting and drive machines frequently found in process plants.

**Keywords:** Friction losses; Section and fittings of pipes; Fluid transport; Process plants, EMSO.

## NOMENCLATURA

$l$  = Longitud de la línea.

$D$  = Diámetro interno de la tubería.

$v$  = Velocidad media del fluido.

$g$  = Constante de la aceleración de la gravedad.

$f_{Darcy}$  = Factor de fricción de Darcy.

$Re$  = Número de Reynolds.

$\varepsilon$  = Rugosidad absoluta de la tubería.

$h_f$  = Caída de presión del fluido.

$I.D.$  = Diámetro interno de la tubería en pulgadas.

$K$  = Factor para pérdidas de energía en accesorios.

Apertura % = Porcentaje de apertura de la válvula.

$K_{100\% \text{ open}}$  = Factor  $K$  para la válvula 100% abierta.

$\theta$  = Ángulo para expansión o contracción gradual.

$C_\theta$  = Coeficiente de expansión gradual.

$C_c$  = Coeficiente de contracción gradual.

$P_i$  = Presión del fluido en el punto  $i$ .

$\rho_i$  = Densidad del fluido en el punto  $i$ .

$z_i$  = Altura del punto  $i$  respecto del punto de referencia.

$\alpha$  = Parámetro corrección régimen laminar/turbulento.

$\eta$  = Eficiencia de la máquina impulsora.

$\dot{W}$  = Potencia de la máquina impulsora, energía/masa.

$\dot{m}$  = Flujo másico del fluido en el proceso.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las pérdidas por fricción en las plantas de proceso son, en gran medida, las responsables de los costos de operación, por lo tanto, su cálculo preciso es un tema fundamental en el diseño y optimización de plantas de proceso. Para esto resulta necesario conocer los factores que influyen en este tipo de pérdidas: las propiedades de fluido, la velocidad del flujo, la rugosidad de la tubería, así como su diámetro y longitud [1]. Los fluidos en movimiento presentan una resistencia al flujo por la fricción entre las partículas del fluido y de estas mismas con las paredes de la tubería que los contiene. Las pérdidas o caídas de presión también son producidas por la presencia de accesorios en las líneas de conducción, tales como, válvulas, codos, expansiones, contracciones o cambio de dirección del fluido [2]. Dicha pérdida total de energía para fluir (energía mecánica) se ve reflejada en el sistema como energía térmica o mediante vibraciones mecánicas, que se disipan a través de las paredes de la tubería y su anclaje.

Por la importancia de cuantificar esas pérdidas de energía en tuberías y accesorios, se han desarrollado diferentes métodos que surgen como opciones de mejora al método antecesor. Siempre se parte de la ecuación general de Darcy-Weisbach para calcular las pérdidas en líneas rectas de tubería [3]. De ahí se ha evolucionado a métodos para el cálculo de la caída de presión en accesorios o elementos especiales presentes a lo largo de la línea [3]. Para esto, y teniendo en cuenta la complejidad que pueden presentar las líneas de conducción de una planta de procesos, por los accesorios y elementos especiales que las forman, suele ser conveniente usar plataformas de software para determinar de manera eficiente y rápida las pérdidas en una planta. Dentro de los programas que se pueden usar para el cálculo de las pérdidas están: Excel®, Matlab®, EMSO®, entre otros. Sin embargo, la programación de estos cálculos resulta ser más fácil y eficiente en plataformas como EMSO®, pues, por ser una plataforma orientada hacia objetos, no se debe programar el proceso sino describirlo con las ecuaciones que representen el fenómeno. Esto permite modelar procesos en estado estacionario o dinámico, simplemente seleccionando y conectando bloques de modelo.

Es evidente la necesidad de crear herramientas para mejorar los tiempos de cálculo, que sean más amigables para programar y que contribuyan en la disminución de la tendencia a recaer en errores como



la inconsistencia de unidades en el momento de determinar las pérdidas de energía en plantas de proceso. Ese cálculo de pérdidas por fricción implica, primero, la escritura de un gran número de ecuaciones algebraicas y, luego, la solución de tal sistema de ecuaciones. Para aliviar esa tarea, en este trabajo se presenta una plataforma para modelar de forma general los fenómenos que ocurren a lo largo de una línea de conducción, con tuberías y accesorios. La plataforma puede usarse para describir cualquier línea en una planta, de acuerdo con las necesidades de cada usuario, sin importar su complejidad y longitud.

## 2. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y SU CÁLCULO

Las pérdidas de energía asociadas con el flujo de un fluido por una línea, son energía no recuperable que se disipa al medio ambiente. En el movimiento de un fluido real, parte de la energía que posee en el extremo de entrada de la línea, se disipa por la fricción interna del mismo fluido, su roce con las paredes de la conducción y los efectos de los cambios de dirección en el flujo. Justamente tal disipación es la que debe cuantificarse para caracterizar el flujo del fluido. A esa energía disipada se le conoce como pérdida por fricción durante el flujo.

En general, las pérdidas por fricción se dividen en tres grandes grupos: pérdidas en líneas rectas, pérdidas en accesorios y pérdidas en elementos especiales. El cálculo de esa disipación de energía es aplicable a sustancias en una sola fase, independientemente de si son fluidos incompresibles o compresibles. Para flujos multifásicos existe una manera modificada para el cálculo de pérdidas por fricción, manera no considerada en este trabajo [4] [5].

### 2.1. Pérdida por fricción en líneas rectas

Para calcular las pérdidas por fricción de un fluido cuando fluye a través de una línea cerrada, recta y circular, se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach [3], [6]. Esta ecuación es considerada la general para explicar la pérdida de energía durante el movimiento de fluidos:

$$h_f = \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} f_{Darcy} \quad (1)$$

con  $h_f$  la pérdida de cabeza dada en metros columna del líquido que circula,  $l$  longitud de la línea,  $D$  diámetro interno de la línea,  $v$  velocidad media del fluido,  $g$  aceleración de la gravedad y  $f_{Darcy}$  factor de fricción adimensional de Darcy (existe el de Fanning que es la cuarta parte de éste). La anterior expresión se puede llevar a unidades propias de la ecuación de Balance de Energía Mecánica, es decir, energía por unidad de masa en el sistema internacional, utilizando la constante de conversión de unidades:

$g_c = 1.0 \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2}$  [6], como se observa a continuación:

$$h_f = \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g_c} f_{Darcy} [=] \frac{m \frac{m^2}{s^2}}{m \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2}} [=] \frac{N \cdot m}{kg} [=] \frac{J}{kg} \quad (2)$$

Para usar esta ecuación general, se debe calcular el factor de fricción adecuado ( $f_{Darcy}$ ). Actualmente, existen diferentes formas para calcular el factor de fricción, por ecuaciones o gráficos (Diagrama de Moody [7]), sin olvidar que los regímenes posibles para un fluido fluyendo por una conducción cerrada son: Laminar para  $Re < 2000$ , Transición si  $2000 < Re < 4000$  y Turbulento para  $Re > 4000$ . En el cálculo, el régimen de transición se considera ya turbulento para las pérdidas, con lo que se tiene un resultado por lo menos conservativo de las pérdidas, pero nunca menor a las reales. Con todo esto, a continuación las expresiones que se usan para determinar el factor de fricción [7].

Régimen Laminar ( $Re < 2000$ ):

$$f_{Darcy} = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Régimen de Transición y Turbulento ( $Re > 2000$ ):

Aunque existen muchas ecuaciones, la plataforma usa una de las más precisas, la ecuación de Shacham [8].

$$f_D = \left\{ -2.1 \log \left[ \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} - \frac{5.02}{Re} \log \left( \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} + \frac{14.5}{Re} \right) \right] \right\}^{-2} \quad (4)$$

## 2.2. Pérdidas por fricción en accesorios

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes métodos para calcular las pérdidas por fricción en accesorios. El primero de ellos, el de la Longitud Equivalente (LE), buscó una equivalencia con lo que ya se sabía para tuberías rectas (ec. Darcy-Weisbach). Para ello se procedió de manera experimental y se logró asignar a cada accesorio una longitud de tubería de su mismo diámetro y material, que causa las mismas pérdidas de presión que el accesorio en mención. Lo engorroso de la experimentación para encontrar la LE y la extensión de las tablas resultantes, han hecho que el método caiga en el olvido.

El segundo método histórico determinó que era mejor declarar una constante para cada accesorio de acuerdo con su forma. Dicha constante o coeficiente adimensional, conocido como coeficiente de pérdidas ( $K$ ), es la relación entre las pérdidas de energía mecánica que se producen en el elemento por unidad de masa de fluido circulante y la energía cinética por unidad de masa característica del flujo en el elemento [9]. Dicho coeficiente engloba la relación entre  $f$ ,  $L$  y  $D$  de la ecuación de Darcy-Weisbach para líneas rectas [3]:

$$K = f \frac{L}{D}, \text{ Entonces: } h_{f\_Accesorio} = K_{Accesorio} \frac{v^2}{2}, \quad (6)$$

Se especifica la constante  $K$  para cada accesorio y material de construcción, sin que de ella puedan despejarse luego los valores para  $f$  y  $L$ . Además,  $D$  es considerada una medida con incertidumbre puesto que su valor no corresponde exactamente al diámetro interno de la línea. Hay tablas para la constante  $K$  de acuerdo con la forma del accesorio, su diámetro y hasta el tipo de material que lo conforma, pero de forma similar al método de la LE, la extensión de las tablas las hace poco prácticas.

Un tercer método sugiere el uso de dos  $K$ , en vez de una [10]. Este método contempla el efecto de los cambios en el número de Reynolds, así como los efectos de la forma del accesorio y sus dimensiones reales:

$$K = \frac{K_1}{Re^8} + K_{es} * \left(1 + \frac{1}{1.D}\right), \text{ Con } I.D. [=] \text{ Inches } (7)$$

Para usarlo se deben leer los valores de  $K_1$  y  $K_{es}$  para cada accesorio según sus características, reportadas en una única tabla en el trabajo de Hooper [10]. Esto lo hace más versátil que los dos anteriores.

Hay un cuarto método histórico, propuesto por Ronald Darby [11], que indica que el método de las  $2K$  presenta errores para accesorios de gran diámetro. Por eso adiciona una tercera  $K$ , por lo que se conoce como el Método de las  $3K$ . En la plataforma se utiliza el método de las  $2K$  por ser simple y cubrir los diámetros de líneas de conducción en plantas de proceso con muy bajo error.

## 2.3. Pérdidas por fricción en elementos especiales.

A diferencia de los accesorios convencionales, como codos, uniones, y válvulas 100% abiertas, existen algunos accesorios no cubiertos en las tablas para el método de las  $2K$ , o que estando allí sólo dan el factor de fricción para una condición operativa y se sabe que el accesorio puede operar en diversas condiciones. Para esto se han desarrollado expresiones para tener mayor precisión en el cálculo de  $K$  para elementos especiales como: válvulas semi-abiertas, entradas y salidas a tanques, expansiones y contracciones súbitas y graduales, entre otros. A continuación se presentan las expresiones para el cálculo de  $K$  de cada uno de estos elementos, usados como modelo Padre en la plataforma.

### 2.3.1. Válvulas semi-abiertas:

En este caso, aunque la tabla del método de las  $2K$  da un valor para el factor de fricción, dicho valor corresponde a la válvula totalmente abierta (100% *Open* [10]), por lo que debe disponerse de una manera para ajustar el valor de acuerdo con el grado de apertura. Contando con una tabla para  $K$  100% abierta y a otros porcentajes de apertura de la válvula, se determinaron correlaciones para los valores superiores del intervalo dado en [12], para los dos tipos principales de válvulas usuales en plantas de proceso.

*Válvula de compuerta (Damper):*

$$K = [5 \times 10^6 * (\text{Apertura } \%)^{-1.31}] * K_{100\% \text{ Open}} (8)$$

Válvula Globo:

$$K = [1061 * (Apertura \%)^{-1.51}] * K_{100\% \text{ Open}} \quad (9)$$

### 2.3.2. Entrada de tanque:

En estos “accesorios”, el factor  $K$  es independiente de la configuración mecánica del ensamble con el tanque. Por lo tanto, siempre dicho valor es  $K = 1.0$ . La justificación es sencilla, se asume que el fluido, por entrar al tanque, pierde toda su velocidad y una cabeza de velocidad, entendida como el valor de  $\frac{v^2}{2}$ .

### 2.3.3. Salida de tanque:

Las pérdidas de energía dependen de la manera en la que está unida la línea de descarga con el tanque, que puede ser con bordes entrantes al tanque (*inward projecting or board*), recta o con soldadura directa a la pared del tanque (*flat or straight*), y aboquillada (*flush, rounded or smooth*). Esto se ilustra en la Figura 1, con su respectivo valor para el factor  $KK$ .

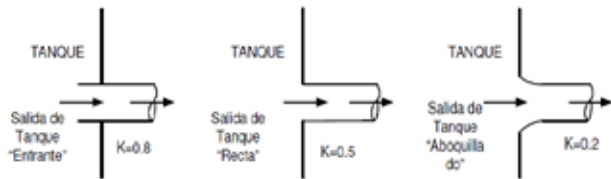


Figura 1. Diferentes tipos de conducciones para salida de tanques.

### 2.3.4. Expansión y contracción súbita.

Para cambios súbitos de diámetro, como los que se producen en los cambios de diámetro de la conducción a través de accesorios de contracción-expansión (reducciones), se utilizan las dos siguientes correlaciones [13]:

Expansión:

$$K = \left[ 1 - \left( \frac{D_{Menor}}{D_{Mayor}} \right)^2 \right]^2 \quad (9)$$

Contracción:

$$K = 0.5 * \left[ 1 - \left( \frac{D_{Menor}}{D_{Mayor}} \right)^2 \right]^2 \quad (10)$$

### 2.3.5. Expansión y contracción gradual:

Para los cambios graduales de diámetro en la línea de conducción, se usan las siguientes dos expresiones para el cálculo del factor  $K$  del accesorio, con base en el ángulo medido, como se ve en la Figura 2.

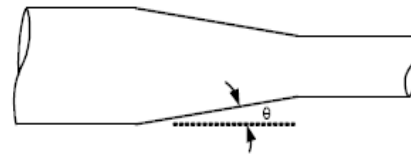


Figura 2. Contracción (fluido de izquierda a derecha) o expansión gradual (fluido de derecha a izquierda)

Expansión [13].

$$K = C_\theta * \left[ 1 - \left( \frac{D_{Menor}}{D_{Mayor}} \right)^2 \right]^2 \quad (11)$$

$$\text{con } C_\theta = 1.0; \text{ si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad (12)$$

$$\text{y } C_\theta = 2.6 * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right); \text{ si } \theta \leq 45^\circ \quad (13)$$

Contracción [14]:

$$K = C_c * \left[ 1 - \left( \frac{D_{Menor}}{D_{Mayor}} \right)^2 \right]^2 \quad (14)$$

$$\text{con } C_c = \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}; \text{ si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad (15)$$

$$\text{y } C_c = 1.6 * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right); \text{ si } \theta \leq 45^\circ \quad (16)$$

### 3. EMSO® COMO AMBIENTE DE PROGRAMACIÓN ORIENTADO A INGENIERÍA DE PROCESOS

EMSO® es la sigla del nombre en Inglés: *Environment for Modeling, Simulation and Optimization*. Esta es una plataforma de modelado y simulación de procesos desarrollada por un grupo de investigadores de Brasil, con el patrocinio de varias empresas que hacen parte del proyecto ALSOC (sigla en Portugués para *Ambiente Livre para Simulação, Otimização e Controle de Processos*). EMSO® como entorno gráfico, le permite al usuario modelar procesos dinámicos o en estado estacionario, a través del desarrollo de modelos propios mediante el lenguaje de programación EMSO®, o mediante el uso de modelos ya existentes en la librería de modelos *EML (EMSO Model Library)*. EMSO® es un lenguaje orientado a objetos, que posee las propiedades de herencia de la programación en C++ [15]. Es así como se tienen Modelos Padre o Base que pueden ser vinculados para generar instancias o sub-modelos (modelo hijo) con características heredadas del Padre y otras particulares definidas en su propio archivo. Además de la herencia, EMSO® cuenta con otras características como plataforma de simulación: está basado en ecuaciones, cuenta con una Librería de modelos de código abierto (*open source*), realiza el chequeo automático y conversión de unidades así como el análisis de consistencia, tiene una interfaz gráfica de usuario integrada, permite la manipulación de eventos discretos y funciona como una interfaz multitarea y concurrente para el caso de simulaciones en tiempo real.

En EMSO® no se requiere describir en un orden específico las ecuaciones del modelo del proceso para que puedan ser resueltas. Además, es uno de los pocos programas que presenta un análisis de consistencia (grados de libertad estáticos y dinámicos) y comprobación y conversión de las unidades utilizadas [15], a diferencia de software como Matlab® y Excel® que no cuentan con este tipo de análisis previo a la simulación. Se invita al lector a consultar el manual de usuario directamente en la página web del proyecto Alsoc [16].

### 4. UNA PLATAFORMA PARA EL MODELADO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN PLANTAS DE PROCESO

Con el fin de agilizar el cálculo de pérdidas de energía por fricción en una línea de conducción específica o incluso en una planta de proceso total, se desarrolló en EMSO® un conjunto de modelos Padre genéricos, que contienen los cálculos para cada uno de los elementos que pueden existir en una línea de conducción: tramos de línea recta y los distintos accesorios presentados anteriormente. Cada modelo Padre contiene las ecuaciones características que describen el flujo del fluido a través del elemento: balance total de materia y balance de energía mecánica. También contiene los parámetros característicos del elemento, las variables a calcular y especificar, así como las condiciones de entrada al tramo de tubería o accesorio. Se utilizaron todos los métodos de cálculo presentados previamente: Darcy-Weisbach, método de las 2K y las expresiones descritas en la Sección 2.3. A continuación se listan los accesorios y elementos incluidos en el modelo Padre, y las ecuaciones que los describen. Aprovechando que EMSO® es un software abierto, el lector puede agregar modelos para otros elementos especiales. En la plataforma que se presenta, siempre se calcula la caída de presión que ocurre entre un punto 1 a la entrada y un punto 2 a la salida del elemento, con el Balance de energía mecánica:

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 + \eta \dot{W} = \frac{P_2}{\rho_2} + \alpha \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 + h_{f_{1-2}} \quad (17)$$

con  $h_{f_{1-2}}$  hallado con la ecuación particular de cada elemento, previo cálculo del número de Reynolds [2]:

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi D \mu} \quad (18)$$

y del parámetro  $\alpha$  del régimen de flujo según:

$$\alpha = 1.01, \text{ para } Re \geq 2000 \quad (19)$$

$$\alpha = 2.0, \text{ para } Re < 2000 \quad (20)$$

De este modo, la caída de presión en el tramo completo de línea de conducción es una simple sumatoria de las pérdidas de presión en los elementos individuales.

**Tramo recto de línea de conducción:** la  $K$  del tramo se calcula con  $h_{f\ 1-2}$  hallado por la ecuación de Darcy-Weisbach (1) y el factor de fricción con (4).

**Accesorios:** el modelo calcula la caída de presión en accesorio como: codos, tees, uniones y válvulas todo-nada (100% open). Se utiliza el método de las  $2K$  para el  $h_{f\ 1-2}$ .

**Elementos especiales:** a diferencia de tramos rectos y accesorios convencionales, las pérdidas en estos elementos especiales (válvulas con porcentaje de apertura diferente al 100%, cambios graduales y cambios súbitos de diámetro), se calculan con un método específico para determinar el factor  $K$  de cada uno y con eso hallar  $h_{f\ 1-2}$ .

**Máquinas (bombas, ventiladores, turbinas, etc.):** se tiene dos modelos con base en el balance de energía mecánica. Uno en el que conociendo la potencia y eficiencia de la máquina se determina la presión de salida en un tramo que contiene a la máquina. En el otro, se da la presión de salida para determinar la potencia que entrega o retira la máquina desde el fluido para alcanzar dicha presión de salida. Recuérdese que las pérdidas por fricción en una máquina están incluidas en su eficiencia  $\eta$ .

**Tanques:** el comportamiento de un tanque considera por defecto que existe un control del nivel (en el caso de un líquido como fase continua) y se conoce, además, la presión en la atmósfera del tanque (o del tanque completo en caso de un gas como fase continua). Cuando no existe control de nivel, al modelo debe adicionarse una ecuación diferencial que describa dicho cambio. Con todo esto, el modelo es el de la presión por una columna de fluido más la presión de la atmósfera en la parte superior del tanque para líquidos, o la presión en el tanque para gases.

Para cada uno de los modelos de la plataforma se presenta una breve descripción en el Anexo 1. Cada modelo permite que el usuario asigne el valor 1 para la característica del accesorio o el valor 0 en caso de que el accesorio no tenga esa característica. Cada característica se definió como una variable del modelo.

## 5. UN EJEMPLO DE APLICACIÓN

En un proceso fluyen  $1.028\ \text{kg}/\text{s}$  de Dietilanilina ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) a  $20^\circ\text{C}$  por una tubería de acero inoxidable SS316,  $\text{DN}\ 1\frac{1}{4}$ ,  $5\text{ch.}\ 80$  en su primera parte (hasta el ojo de succión de la bomba), y tubería de acero inoxidable SS316,  $\text{DN}\ \frac{3}{4}$ ,  $5\text{ch.}\ 80$ , en la segunda parte (después de la bomba). A esa temperatura, las propiedades del fluido son:  $\rho = 935\ \text{kg}/\text{m}^3$  y  $\mu = 1.95\ \text{cP}$ . La línea de conducción empieza a una altura de  $0.5\text{m}$  del piso con su punto de descarga ubicado a  $4.5\text{m}$  del piso. Esa línea está ensamblada toda con tubería y accesorios roscados. Todos los accesorios son de acero inoxidable SS316. La línea está formada como se ve en la Figura 3, descrita así: salida tipo recta en el tanque y un nivel regulado a  $1.3\text{m}$ , una válvula de bola (todo-nada) de asiento reducido (*reduced trim*)  $\beta = 0.9$ , seis uniones universales, una bomba centrífuga de  $1.5\text{HP}$  con eficiencia  $\eta=65\%$  al caudal dado y tomas de succión y descarga de  $\text{DN}\ 1\frac{1}{4}$ , una reducción roscada macho-hembra de  $1\frac{1}{4}$  a  $\frac{3}{4}$ , dos codos  $90^\circ\text{STD}$ , una válvula cheque tipo compuerta (*swing*), una válvula de globo y una entrada superior libre al tanque que recibe. La longitud del tramo recto entre el tanque y la succión (tubería SS316,  $\text{DN}\ 1\frac{1}{4}$ ,  $5\text{ch.}\ 80$ ) es  $1.1\text{m}$ , mientras que la longitud total del tramo recto entre la descarga de la bomba y la descarga al tanque de recepción (tubería SS316,  $\text{DN}\ \frac{3}{4}$ ,  $5\text{ch.}\ 80$ ) es  $15.9\text{m}$ .

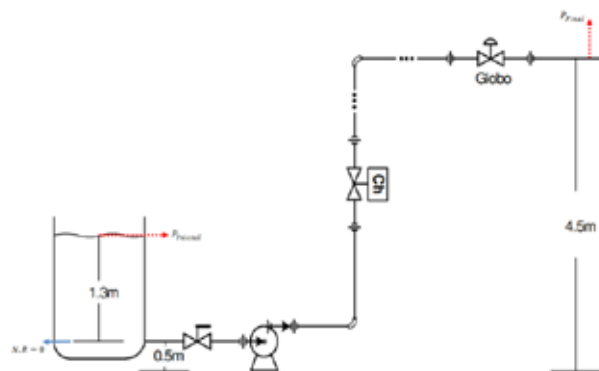


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso para el transporte de Dietilanilina.

**Tabla 1.** Datos de referencia para la tubería y fluido.

Acero inoxidable SS316	
$\epsilon$	$45 \times 10^{-6} \text{ m}$
$D_1$	$0.03246 \text{ m}$
$D_2$	$0.01884 \text{ m}$
$Sc_h$	80
$m_{\text{fluido}}$	$1.028 \text{ kg/s}$
$\rho_{\text{fluido}}$	$935 \text{ kg/m}^3$
$\mu_{\text{fluido}}$	$1.95 \text{ cP}$

Para este proceso se calcularon las pérdidas de energía por fricción entre el punto de inicio, en la superficie del líquido en el tanque y el punto final en el que termina la tubería antes de la entrada a un segundo tanque (que no se muestra en la Figura 3). El procedimiento de cálculo recopila y tabula todos los datos de la línea de conducción: material y rugosidad absoluta, diámetro nominal ( $DN$ ), cédula ( $Sc_h$ ) y diámetro interno ( $D$ ) de cada tramo. La Tabla 1 lista la información recopilada.

La información de la Tabla 1, corresponde a los datos que no cambian a lo largo de la línea. Luego, se hace una identificación de cada accesorio y el orden en que se encuentran a lo largo de la línea. Lo anterior se hace para respetar la forma secuencial del cálculo de las pérdidas en la línea, con el uso de modelos Padre en EMSO®. Para llevar a cabo la conexión de línea y accesorios, se crea un archivo tipo *FlowSheet* o diagrama de flujo en la plataforma EMSO®. Allí se representa la interconexión de diferentes equipos de proceso o dispositivo (*Devices*), en este caso, línea recta, accesorios y máquina, para formar el proceso completo esquematizado en el diagrama de flujo. Cada dispositivo se describe matemáticamente por medio de un *Model*, que en este caso representa el comportamiento de cada elemento presente en una línea de conducción, todos conectados en su respectivo orden a través del *FlowSheet*.

Se establece entonces el *FlowSheet* en un nuevo archivo EMSO, incluyendo mediante el comando “using” al archivo que contiene los modelos Padre de línea, accesorios y máquina. Se nombran los dispositivos y se les asigna una familia que corresponde a uno de los modelos creados. Por ejemplo, se declara un tramo de tubería como *Line1*, y luego se define que este tramo se calculará con el modelo que des-

cribe las pérdidas de energía en un tramo de tubería recta (*StraightLineEqual*) de la siguiente manera: *Line1* as *StraightLineEqual*. De este modo se procede para cada uno de los elementos de la línea, se le asigna su respectivo modelo Padre del listado de modelos creado y descrito en la Sección 4. Para el ejemplo de la Figura 3, se declaró cada uno de los dispositivos que conforman la línea de conducción y su Modelo Padre (ver Anexo 2 - Sección *Devices*). A continuación, se define cómo están conectados cada uno de los dispositivos creados, mediante la sección *Connections*. Se debe crear un nuevo modelo que contenga todas las variables o corrientes de interés, que hará las veces de vector y se almacenan los valores que se le asignen. Para lograr dicha asignación, en el modelo de cada dispositivo, se debe declarar una variable de entrada y una de salida, que sea descrita por el modelo que contiene las corrientes o variables de interés, es decir, con la conexión “as” para definir las variables. Adicionalmente, a la declaración de las variables como un modelo específico, se debe declarar en las ecuaciones una equivalencia que recoja las variables que alimentan el dispositivo en nuevas variables propias del modelo del equipo o dispositivo. Cuando se tengan los resultados, se deben volver a generar ecuaciones que alimenten las variables o corrientes de salida que se van a llevar a otro dispositivo a través del “vector”. Esto evita hacer repetidamente la conexión para cada una de las variables, puesto que ya se encuentran contenidas en el “vector”.

Para conectar los dispositivos, se debe tener en cuenta la relación *Dispositivo de Salida a Dispositivo de Entrada*, como se muestra en la Figura 4, en la que *OutTank* hace referencia al dispositivo descrito por el modelo creado para tanques, *FlowTank\_outlet* corresponde al vector en el que van contenidas las variables de salida que serán alimentadas al otro dispositivo, que para este ejemplo alimenta el vector *FlowLine\_intlet* del dispositivo *Line\_PipeE*.

```

CONNECTIONS
OutTank.FlowTank_outlet      to Line_PipeE.FlowLine_inlet;
Line_PipeE.FlowLine_outlet   to FlowValveGate.FlowGate_inlet;
FlowValveGate.FlowGate_outlet to Line_PipeE1.FlowLine_inlet;
Line_PipeE1.FlowLine_outlet  to FlowTeeThrough.FlowTee_inlet;

```

**Figura 4.** Fragmento de la sección *Connections* Anexo 2.

Para terminar la definición del diagrama de proceso o *FlowSheet*, se declaran los valores de los parámetros mediante la sección *SET* y se especifican las variables en la sección *Specify*, de forma que se cumpla



con el análisis de consistencia del modelo. Una vez realizado el procedimiento anterior y corrida la simulación en EMSO®, se obtienen los resultados para cada uno de los elementos: las presiones de entrada y salida, la pérdida de energía en el accesorio o tramo con base en los puntos de entrada y salida del accesorio o tramo, y la caída de presión en cada uno. Cabe resaltar que cuando se ejecuta la simulación, los resultados obtenidos corresponden a la solución de un problema dimensionalmente consistente. Adicionalmente, la plataforma permite observar los demás factores que se calcularon previamente para obtener cada una de las variables de interés: el número de Reynolds, el factor de fricción y el factor  $\alpha\alpha$ . Se presentan a continuación los resultados obtenidos para la simulación del proceso de transporte de Dietilnilina, para las pérdidas de energía en los diferentes elementos de la línea. Éstos se encuentran divididos de acuerdo con el diámetro nominal de la tubería.

Se puede observar la disminución que se presenta en el factor de fricción ante incrementos en el número de Reynolds, que se debe al aumento en la velocidad por la disminución del diámetro. Dicha disminución es consecuencia principalmente de la rugosidad relativa de la pared de la tubería, o la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la línea. Este fenómeno concuerda con lo propuesto en el diagrama de Moody para flujos turbulentos [7]. Los resultados obtenidos para las demás variables de interés se presentan en el Anexo 3. Los tramos tratados fueron: *tramo 1 de la línea*, desde el punto 1 en el nivel de líquido en el tanque hasta el ojo de succión de la bomba, y *tramo 2 de la línea*, desde el ojo de descarga de la bomba hasta el último extremo de la línea de conducción, antes de la entrada al tanque de recibo. Las tablas 3 y 4 muestran los resultados de las pérdidas calculadas.

**Tabla 2.** Parámetros de cada tramo para el cálculo de las pérdidas.

Tramo 1		Tramo 2	
$Re$	20678.5	$Re$	35627.6
$Régimen$	Turbulento	$Régimen$	Turbulento
$f_{Darcy}$	0.02851	$f_{Darcy}$	0.02827

**Tabla 3.** Resultados para las pérdidas de energía en el tramo de tubería 1.

Tramo 1: $DN_{\frac{1}{4}}^{1''}$	
Elemento en la línea	$h_{f1-2}$
Accesorios (salida de tanque, válvula compuerta, tee)	$0.907 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Tramos de tubería (3)	$0.852 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Total tramo 1	$1.759 \text{ m}^2/\text{s}^2$

**Tabla 4.** Resultados para las pérdidas de energía en el tramo de tubería 2.

Tramo 2: $DN_{\frac{3}{4}}^{\frac{3}{4}}$	
Elemento en la línea	$h_{f1-2}$
Accesorios (contracción, válvula globo, válvula check, tee (5), codos $90^\circ$ (2))	$252.501 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Tramos de tubería (3)	$185.609 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Total tramo 2	$438.111 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Si se requiere llevar las pérdidas a unidades de presión, se debe multiplicar el valor obtenido en  $\text{m}^2/\text{s}^2$  por la densidad del fluido. Finalmente, para un fluido con  $\rho = 935 \text{ kg}/\text{m}^3$ , se obtienen estas pérdidas en cada tramo de tubería. Tramo 1:  $h_{f1-2} = 1645.13 \text{ Pa}$ . Tramo 2:  $h_{f1-2} = 409633.59 \text{ Pa}$ . Con base en lo anterior, se puede observar que las pérdidas en el segundo tramo son significativamente mayores que las obtenidas en el primer tramo. Esto no es debido solamente a la presencia de un número mayor de accesorios y tramos de tubería más largos, sino a la reducción en el diámetro posterior a la bomba. Por tener un menor diámetro para el mismo caudal, se presenta un aumento significativo en la velocidad del fluido, lo que incrementa el número de Reynolds y se representa un flujo más turbulento, desordenado y obstruido para viajar a lo largo de la tubería.

Adicional a las pérdidas de energía, y los factores determinantes para su obtención en el archivo construido para este ejemplo, se puede apreciar la caída de presión que sufre el fluido al atravesar cada uno de los accesorios o líneas (ver Anexo 3), lo cual resulta de gran importancia para el diseño y selección de elementos para la línea. Cuando aparecen valores negativos, éstos indican que el sistema o fluido no está perdiendo energía sino recibiendo un incremen-

to en su presión a través de una máquina impulsora o por medio de una columna de líquido, si se trata de determinar la presión en el fondo de un tanque.

## 6. COMENTARIOS FINAL

El ejemplo presentado anteriormente es una muestra de una de las aplicaciones de la plataforma construida, pues con base en ésta y, mediante el *FlowSheet* creado para describir el proceso, se obtuvo el valor de las pérdidas de energía en todo el tramo de tubería con sus respectivos accesorios, de manera secuencial y ágil si se compara con los cálculos manuales convencionales. Sin embargo, y como se mencionó en la introducción, estos cálculos se pueden efectuar en otros software como Matlab® y Excel®, pero con mayor complejidad en la programación por no contar con las ventajas de EMSO® para establecer consistencia dimensional y grados de libertad. Adicionalmente, programas como Excel® no facilitan crear un archivo base en el que establezcan los modelos típicos de cada tramo de tubería y accesorio, para ser usado posteriormente en los casos que se requiera. Para efectuar esto se debería crear un nuevo archivo cada vez que se trabaje con un proceso diferente, mientras que en EMSO® basta cambiar las conexiones en el *FlowSheet*.

Frente a Matlab®, la construcción de la plataforma en EMSO® se facilita desde la escritura de los códigos asociados con cada accesorio o tramo de tubería, hasta la construcción del *FlowSheet* para diferentes procesos, dado que EMSO®, como un simulador de procesos orientado a ecuaciones, se encarga de agrupar las ecuaciones de todas las unidades de proceso en un único sistema de ecuaciones, sin importar el orden en que éstas fueron escritas, para luego verificar grados de libertad del modelo completo y con base en éstos obtener un resultado. Sin embargo, una de las principales ventajas y razones para construir dicha plataforma en EMSO®, tiene que ver con sus propiedades de composición y herencia, es decir, la capacidad de crear modelos a partir de otros modelos, lo cual le permite al usuario utilizarlos a través de un *FlowSheet* para calcular las pérdidas de energía en sus procesos, sin tener que recurrir a la descripción de los fenómenos que se presentan en cada uno de los elementos que conforman los sistemas de transporte de fluidos en plantas de proceso.

Finalmente, aprender a manejar los recursos permite obtener iguales o mejores resultados en un menor tiempo. Además, se evitan errores frecuentes que se cometen cuando se realizan cálculos manuales y dejar de lado cifras decimales que, para magnitudes como las que presenta el factor de Darcy, representan grandes diferencias. La creación de los modelos Padre es un camino muy preciso y práctico, en cuanto al cálculo de pérdidas de energía se refiere, dado que en éstos, los métodos de cálculo están definidos pero pueden diferenciarse de una planta de proceso a otra, en el fluido de trabajo y orden o disposición de los accesorios y tramos de tubería. Dichos modelos pueden llamarse mediante un *FlowSheet* para describir un proceso en específico, en el que los cálculos se realicen de manera automática y secuencial. Con esto, la plataforma creada resulta de gran importancia para valorar diseños y verificar el comportamiento del sistema ante variaciones en alguna variable de interés como el caudal, o incluso si se utiliza otro fluido de trabajo.

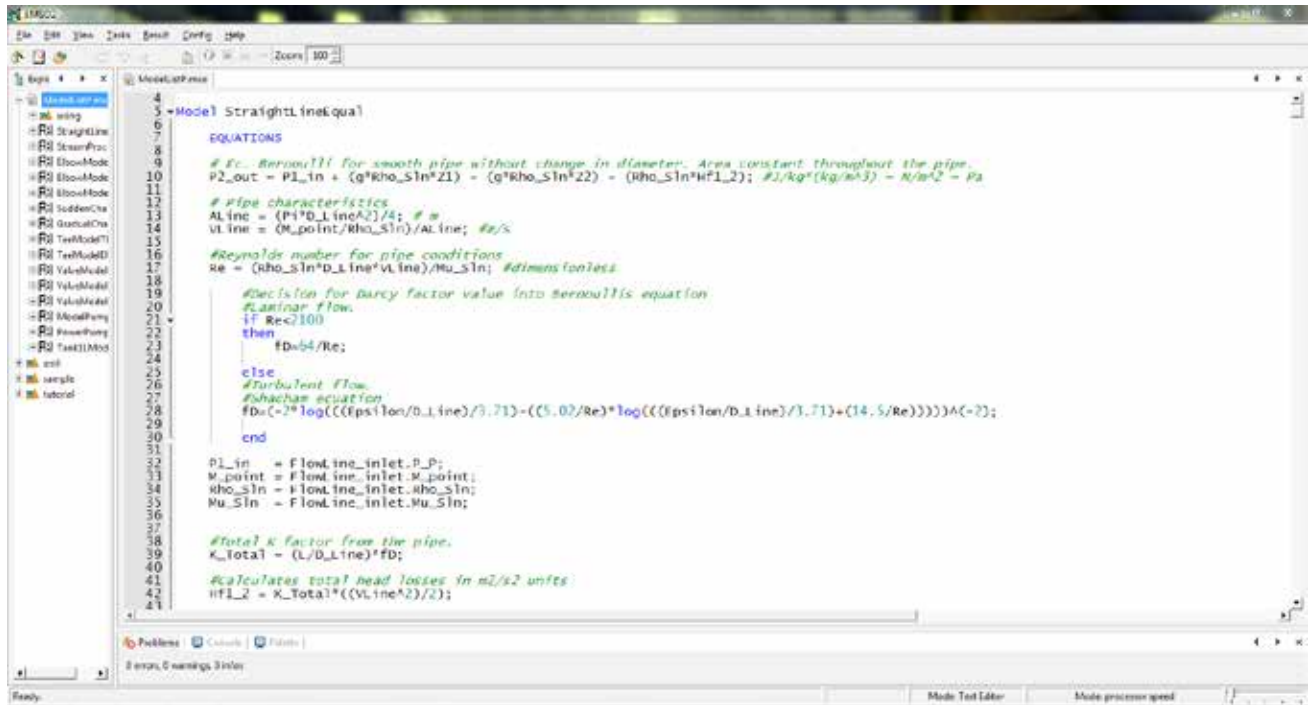
## REFERENCIAS

- [1] R. Manjarrez and M. Arias, "Sappi," [Online]. Available: [http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos\\_anexo/20071423\\_4389.pdf](http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20071423_4389.pdf). [Accessed Septiembre 2014].
- [2] C. Córdova, J. Rolando, P. Calva and C. Xavier, "Universidad Politécnica Salesiana Ecuador - Repositorio Digital," Enero 2012. [Online]. [Accessed Septiembre 2014].
- [3] M. Hernandez and L. Viloria, "Análisis de Cálculo del Coeficiente de Pérdida de Cabeza "K", Para los más Comunes Accesorios de Tubería Manufacturados en el País.," Maracaibo, 2008.
- [4] O. Baker, "Design of Pipelines for the Simultaneous Flow of Oil and Gas," *Society of Petroleum Engineers - Fall Meeting of the Petroleum Branch of AIME*, Vols. DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/323-G>, 1953.
- [5] R. W. Lockhart and R. Martinelli, "Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two-Component Flow in Pipes," *Chemical Engineering Progress*, vol. 45, no. 1, pp. 39-48, 1949.
- [6] J. T. Fanning, *A practical treatise on hydraulic and water supply engineering*, New York: Van Nostrand, 1877.
- [7] L. F. Moody, "Friction factors for pipe flow," *Transactions of the A.S.M.E.*, vol. 66, p. 671-684, 1944.

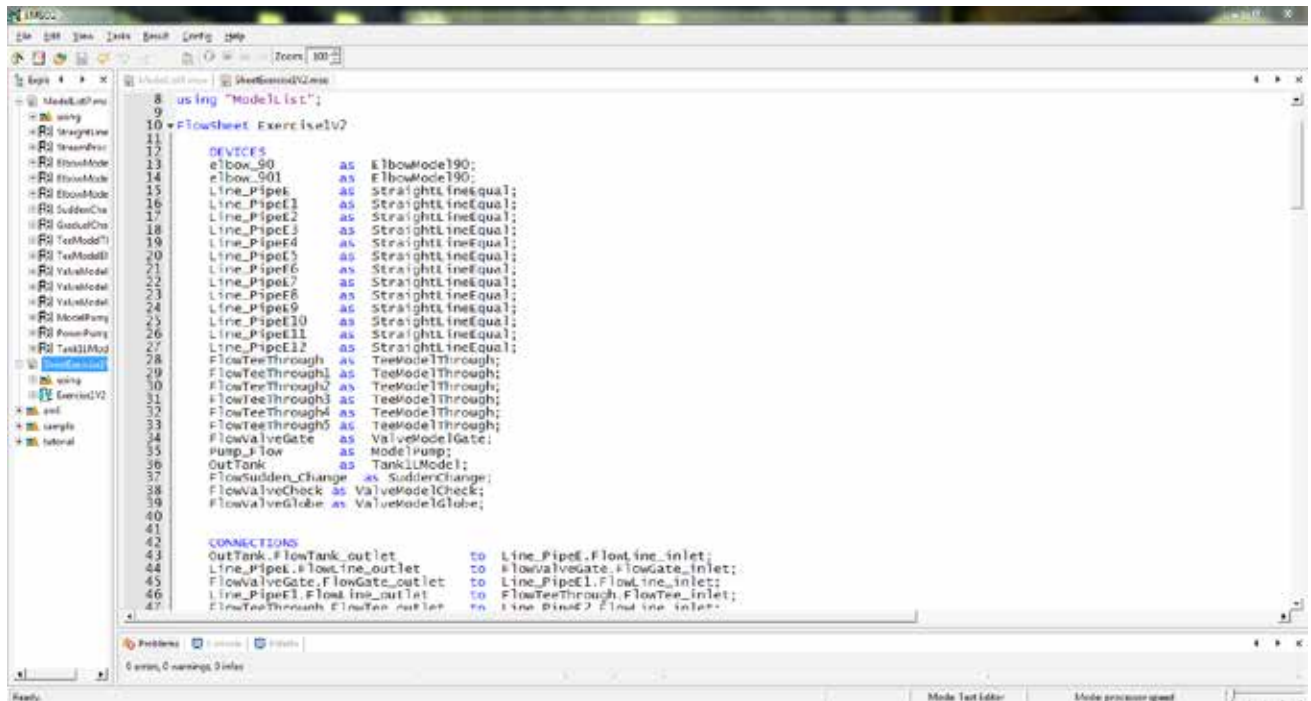


- [8] M. Shacham, "Ind. Eng. Chem. Fund.," vol. 19, pp. 228-229, 1980.
- [9] A. Rivas and G. Sánchez, "Pérdidas de Carga en Los Componentes de Las Instalaciones Hidráulicas.," San Sebastián, 2007.
- [10] W. B. Hooper, "The two-K method predicts head losses in pipe fittings," *Chemical Engineering*, pp. 96-100, 1981.
- [11] R. Darby, *Chemical Engineering Fluid Mechanics, Revised and Expanded*, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
- [12] C. Co., "Technical Report No. 410.," Crane Co., New York, 1985.
- [13] Crane, *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*, Guadalajara: McGraw Hill, 1987.
- [14] A. Gibson, "Standards of hydraulic institute," 1947.
- [15] R. Soares and A. Secchi, "EMSO: A new environment for modelling, simulation and optimisation," in *Computer Aided Chemical Engineering*, Porto Alegre, Elsevier, 2003, pp. 947-952.
- [16] J. O. Pinedo and M. E. Sánchez, *Notas para un Curso Básico de Simulación de Procesos en Ingeniería Química Usando EMSO(R)*, Medellín: Grupo de Investigación en Simulación, Diseño, Control y Optimización de Procesos, SIDCOP, 2012.

ANEXO 1: Vista pantalla archivo ModelList.mso



ANEXO 2: Vista pantalla archivo SheetExercise1V2.mso



**ANEXO 3:** Resultados simulación en EMSO para el transporte de Dietilanolina.

**Tabla 5.** Resultados Simulación EMSO(R).

Tanque		Tramo Tubería 7	
$P_1$	85113 Pa	$P_1$	711973 Pa
$P_2$	95778.8 Pa	$P_2$	709965 Pa
$h_{r 1-2}$	0.4413 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.1674 $m^2/s^2$
$\Delta P$	-10665.8 Pa	$\Delta P$	2007.82 Pa
Tramo Tubería 1		Válvula Check	
$P_1$	95778.8 Pa	$P_1$	709965 Pa
$P_2$	95416.3 Pa	$P_2$	685322 Pa
$h_{r 1-2}$	0.3877 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	26.36 $m^2/s^2$
$\Delta P$	362493 Pa	$\Delta P$	24643.5 Pa
Válvula Gate		Tramo Tubería 8	
$P_1$	95416.3 Pa	$P_1$	685322 Pa
$P_2$	95151.6 Pa	$P_2$	683314 Pa
$h_{r 1-2}$	0.2831 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.1674
$\Delta P$	264.74 Pa	$\Delta P$	2007.82 Pa
Tramo Tubería 2		Tee - Flujo a través 4	
$P_1$	95151.6 Pa	$P_1$	683314 Pa
$P_2$	94789.1 Pa	$P_2$	681651 Pa
$h_{r 1-2}$	0.3877 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.78 $m^2/s^2$
$\Delta P$	362493 Pa	$\Delta P$	1662.64 Pa
Tee - Flujo a través 1		Tramo Tubería 9	
$P_1$	94789.1 Pa	$P_1$	681651 Pa
$P_2$	94618.3 Pa	$P_2$	627440 Pa
$h_{r 1-2}$	0.1827 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	31.52 $m^2/s^2$
$\Delta P$	170.81 Pa	$\Delta P$	54211 Pa
Tramo Tubería 3		Codo 90° - 2	
$P_1$	94618.3 Pa	$P_1$	627440 Pa
$P_2$	94545.8 Pa	$P_2$	620790 Pa
$h_{r 1-2}$	0.077 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	7.113 $m^2/s^2$
$\Delta P$	7249 Pa	$\Delta P$	6650.56 Pa
Bomba		Tramo Tubería 10	
$P_1$	94545.8 Pa	$P_1$	620790 Pa
$P_2$	756686 Pa	$P_2$	555299 Pa
$h_{r 1-2}$	1.12 kW	$h_{r 1-2}$	70.04 $m^2/s^2$
$\Delta P$	-662140 Pa	$\Delta P$	65490.9 Pa
Contracción		Tee - Flujo a través 5	
$P_1$	756686 Pa	$P_1$	555299 Pa
$P_2$	748576 Pa	$P_2$	553636 Pa

$h_{r 1-2}$	1.71 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.78
$\Delta P$	8109.84 Pa	$\Delta P$	1662.64 Pa
Tramo Tubería 4		Tramo Tubería 11	
$P_1$	748576 Pa	$P_1$	553636 Pa
$P_2$	747485 Pa	$P_2$	552545 Pa
$h_{r 1-2}$	1.17 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.167 $m^2/s^2$
$\Delta P$	1091.52 Pa	$\Delta P$	1091.52 Pa
Tee - Flujo a través 2		Válvula Globo	
$P_1$	747485 Pa	$P_1$	552545 Pa
$P_2$	745822 Pa	$P_2$	364324 Pa
$h_{r 1-2}$	1.78 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	201.305 $m^2/s^2$
$\Delta P$	1662.64 Pa	$\Delta P$	188220 Pa
Tramo Tubería 5		Tramo Tubería 12	
$P_1$	745822 Pa	$P_1$	364324 Pa
$P_2$	740364 Pa	$P_2$	363233 Pa
$h_{r 1-2}$	5.837 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.167 $m^2/s^2$
$\Delta P$	5457.58 Pa	$\Delta P$	1091.52 Pa
Codo 90° - 1		Tee - Flujo a través 6	
$P_1$	740364 Pa	$P_1$	363233 Pa
$P_2$	733714 Pa	$P_2$	361570 Pa
$h_{r 1-2}$	7.113 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	1.78 $m^2/s^2$
$\Delta P$	6650.56 Pa	$\Delta P$	1662.64 Pa
Tramo Tubería 6		Tramo Tubería 13	
$P_1$	733714 Pa	$P_1$	361570 Pa
$P_2$	713636 Pa	$P_2$	304815 Pa
$h_{r 1-2}$	11.674 $m^2/s^2$	$h_{r 1-2}$	60.7 $m^2/s^2$
$\Delta P$	20078.2 Pa	$\Delta P$	56758.8 Pa
Tee - Flujo a través 3			
$P_1$	713636 Pa		
$P_2$	711973 Pa		
$h_{r 1-2}$	1.78 $m^2/s^2$		
$\Delta P$	1662.64 Pa		

# HACIA UN METAMODELO PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HIDROLÓGICOS

## TOWARDS A META-MODEL FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF HYDROLOGICAL RESOURCES

**José Armando Ordóñez-Córdoba, PhD**

*Fundación Universitaria de Popayán  
Popayán, Colombia  
armandoordonez@docente.fup.edu.co*

**Juan Carlos Corrales, PhD.**

*Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
jcorral@unicauca.edu.co*

**José Luis Arciniegas, PhD.**

*Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
jlarci@unicauca.edu.co*

**Apolinar Figueroa, PhD**

*Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
apolinar@unicauca.edu.co*

(Recibido el 20-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

**Resumen.** Gran parte del desarrollo económico del suroccidente colombiano está relacionado con el uso sostenible de los recursos naturales. En el tema de los recursos hidrológicos, un primer paso para la gestión eficiente del agua es el consenso sobre los mecanismos necesarios para la preservación del agua y las herramientas metodológicas para soportar estos procesos. Este artículo propone una abstracción independiente del lenguaje para los conceptos asociados con los estudios hidrológicos. Para conseguir esta abstracción se identificaron unos conceptos generales y realizó un metamodelo del dominio de los estudios ambientales, que ofrece una descripción de los procesos, variables y resultados de los análisis hidrológicos. Finalmente, se muestra un piloto de la implementación de este sistema.

**Palabras clave:** Cuidado del agua; Metamodelo; Sistemas de información.

**Abstract.** Much of Economic development of southwestern of Colombia is closely related to the sustainable use of natural resources. On the issue of water resources, the first step for efficient hydric resources management is the development of consensus around the necessary mechanisms for preservation of such resources, as well as around the methodological tools for supporting such processes. This paper proposes an language independent abstraction for hydrological studies. To achieve this abstraction, generic concepts are described and a unified meta-model is presented. The meta-model offers a description of the processes, variables and results that are involved in the hydrological analysis. Finally we show a pilot implementation of this system.

**Keywords:** Water care; Metamodel; Information systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para la consolidación de un proceso eficaz de gestión hídrica, es necesario contar con un consenso alrededor de las herramientas metodológicas para la gestión ambiental. Solamente a través de convenciones comunes y acuerdos técnicos será posible, para las personas encargadas de la toma de decisiones en las comunidades locales, regionales y nacionales, descubrir, adquirir, explotar y compartir información geográfica vital para la gestión ambiental. Uno de los pasos más importantes en la consecución de un consenso alrededor de la construcción de una herramienta para la gestión ambiental, es la abstracción de algunos procesos involucrados en los estudios ambientales que describa sus detalles, que sirva de base para la generación de métodos estándares para la gestión ambiental y que soporte la generación de herramientas software igualmente estandarizadas.

Los procesos de gestión ambiental agrupan un conjunto amplio de análisis, inician con un modelado de la realidad para su tratamiento formal, posteriormente incluyen la selección de una herramienta metodológica para la determinación del estado del recurso que permita, finalmente, la toma de decisiones sobre un recurso. Por ejemplo en el caso del agua se puede determinar la calidad o la escasez. Las herramientas metodológicas involucradas en estos procesos de gestión tienen, generalmente, gran cantidad de variables que incluyen, entre otras: las características climáticas de la región, la topografía de la zona e información histórica sobre condiciones existentes. Esta situación representa para las instituciones dos graves problemas [1]:

- Por la variedad de métodos para utilizar en el análisis del recurso hídrico, existe falta de consenso (local, regional y nacional) en lo concerniente a la toma de decisiones sobre el recurso hídrico. Por lo anterior, es muy común que aparezcan múltiples perspectivas sobre la calidad o la abundancia de agua en una región según el tipo de indicador usado.
- El segundo es la necesidad de las instituciones encargadas de la gestión ambiental en el contexto nacional (como el Ideam [2]) o en lo regional (como las corporaciones autónomas regionales como Corpoamazonia [3]) de contar con un soporte informático para cada una de las metodologías. Esto acarrea gastos asociados con las licencias de uso con los procesos de capa-

citación en cada una de las plataformas o sistemas. Cada vez que se quiere analizar una región diferente o se intenta asumir las directrices de una institución gubernamental (como el Ideam o el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [4]) que incluye diferentes análisis.

En este escenario, cada una de las instituciones cuenta con recursos tecnológicos (hardware y software) para realizar algunos análisis hídricos. Sin embargo, por la heterogeneidad de plataformas informáticas, redes de comunicaciones, sistemas operativos y aplicaciones, es prácticamente imposible compartir dichos recursos de procesamiento de forma automática con las demás instituciones por la falta de una infraestructura telemática que permita integrar los servicios provistos por estos sistemas de forma transparente para los usuarios y que tiene repercusiones en la duplicidad de funcionalidades e incremento en los costos. Por medio de la definición de un metamodelo se puede lograr una abstracción del proceso de gestión ambiental. Dicha abstracción provee una correcta y eficiente relación lógica entre los estudios ambientales y la manera como éstos pueden ser soportados por herramientas tecnológicas.

La importancia de los metamodelos, como herramienta de abstracción, se ha resaltado en diversas áreas. Dicha importancia viene del hecho de que un metamodelo permite guardar el conocimiento y reutilizar gran parte de las soluciones abstraídas. En el ámbito de la gestión ambiental el metamodelo facilitará la definición de arquitecturas software para la gestión ambiental distribuida y el desarrollo de herramientas que soporten una gestión integral de los recursos ambientales. Trabajos previos han abordado el uso de lenguajes de modelado para estandarizar el conocimiento de diferentes actores del área ambiental. En [5] se presenta el sistema de soporte a la toma de decisiones llamado Danubia, que usa UML para estandarizar los conceptos y el lenguaje de los actores del proyecto. En [6] se presenta un método para documentar y desarrollar de forma unificada y estandarizada modelos para balance hídrico y programación de irrigación. Los trabajos previos no muestran una abstracción para el dominio de los estudios hidrológicos y se centran en otros aspectos de la gestión ambiental del recurso hídrico. En el presente trabajo se presenta un metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos con UML. Se seleccionó UML puesto que la semántica de los elementos del dominio de

los estudios hidrológicos se pueden asociar con la de UML, además, la definición de clases y asociaciones propias de UML es suficiente para el metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos.

El resto de este artículo se encuentra estructurado en seis secciones: la segunda sección presenta una descripción de los metamodelos. La tercera parte presenta la metodología para la construcción del metamodelo. La cuarta describe detalladamente el metamodelo propuesto. La quinta sección presenta la aplicación del metamodelo en un modelo de estudios ambientales hidrológicos dentro de una plataforma web. Finalmente, en la sexta, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2. METAMODELOS

Un modelo es una simplificación de un sistema construido con un fin específico en mente que debe ser capaz de resolver algunas preguntas en lugar del sistema real. Por su parte, un metamodelo es un modelo que define el lenguaje para expresar un modelo [7], y también se puede definir como un modelo de modelos [8]. Recientemente, las principales organizaciones dedicadas a la definición de estándares como OMG (Object Management Group) [9] han resaltado la importancia de establecer las reglas adecuadas (metamodelos) para modelar las nuevas arquitecturas empresariales que dependen de elementos tecnológicos que soportan tanto sus procesos productivos como administrativos.

Una limitante de un modelo es la especificidad de la representación de una realidad con respecto a la visión compartida de una persona o grupo de personas, lo que hace que los modelos sean estáticos y poco modificables [7]. Por su parte, un metamodelo define elementos esenciales de un conjunto de modelos y no las características específicas que soporta y definir las estructuras y elementos esenciales para armar cualquier modelo. Por lo anterior, se pueden generar metamodelos para un entorno de la realidad y, a partir de este metamodelo, determinar modelos más específicos para las necesidades de los diferentes entornos y los no creados todavía.

Un metamodelo no es esencial para el desarrollo de un modelo, pero sí es necesario para la viabilidad del mismo en cuanto a la dinámica de requisitos y entornos variables y complejos, como lo son los es-

tudios ambientales. La OMG define una arquitectura basada en varios niveles que intervienen en el modelado de un sistema [10]:

- Nivel M0 – Instancias: modela el sistema real y sus elementos son las instancias que componen dicho sistema (objetos en la implementación).
- Nivel M1 – *Modelo del sistema*: representa el modelo del sistema concreto.
- Nivel M2 – *El modelo del modelo (meta-modelo)*: en el nivel M2 se definen los elementos que intervienen en la definición de un modelo en el nivel M1, en el caso de un modelo UML de un sistema, en el nivel M2 se definen los conceptos de “clase”, “atributo” o “asociación”.
- Nivel M3 – *El modelo de M2 (meta-metamodelo)*: en este nivel se definen los elementos que constituyen los distintos lenguajes de modelado. El concepto de “clase” definido en UML (que pertenece al nivel M2) es una instancia del nivel M3 en la que se define en forma precisa dicho concepto, por ejemplo: “una clase es un clasificador, y tiene asociado un comportamiento, además dispone de un conjunto de atributos y de operaciones”.

## 3. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL METAMODELO

La OMG define dos posibilidades a la hora de determinar lenguajes específicos de dominio: o bien se define un nuevo lenguaje (alternativa de UML), o bien se extiende el propio UML y se especializan algunos de sus conceptos y se restringen otros, pero se respeta la semántica original de los elementos de UML (clases, asociaciones, atributos, operaciones, transiciones, etc.) [11][12]. Para definir un nuevo lenguaje, se utiliza MOF [13], para describir lenguajes de modelado. Por otro lado, hay situaciones en las que es suficiente con extender el lenguaje UML con mecanismos recogidos en lo que se denomina Perfiles UML (UML Profiles). En [14], se expresan las ventajas e inconvenientes de cada una de las alternativas, y la segunda es la opción en la base del desarrollo del metamodelo propuesto. Para el desarrollo del presente metamodelo se plantearon 4 fases:

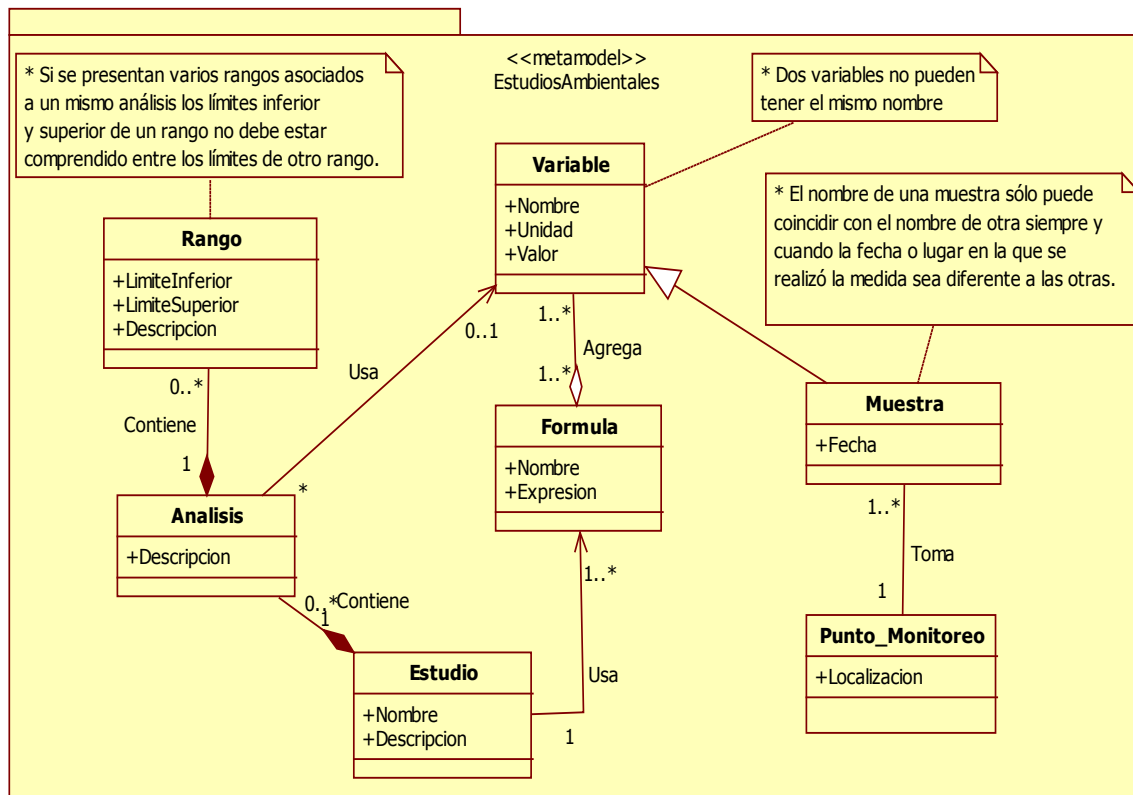


Figura 1. Metamodelo en el nivel más alto de abstracción

### 3.1. Abstracción y análisis del dominio

En la primera fase de desarrollo, inicialmente, se consultan estudios, documentos, artículos y expertos con el fin de identificar los componentes y procesos concernientes al dominio que se ha de modelar. Posteriormente, se realiza un proceso de abstracción que tiene como propósito disminuir la complejidad e identificar aquellos elementos prioritarios para el dominio.

### 3.2. Construcción del metamodelo

En primera instancia, se definirá o seleccionará un lenguaje de representación para el metamodelo, que se adecue a las necesidades planteadas en la fase uno. Luego, se procede a realizar el diagrama con los elementos más abstractos para obtener una arquitectura de nivel M2 del modelado del sistema que toma como base las pautas establecidas por el lenguaje seleccionado o definido anteriormente.

### 3.3. Creación del modelo

A partir del metamodelo propuesto en este artículo se hará el modelado de un sistema específico para obtener una arquitectura de nivel M1, el cual debe resolver un problema con base en los recursos hidrológicos para facilitar el uso de varias entidades relacionadas con dichos recursos de forma distribuida y contribuir en la centralización de la información y la reducción de costos en la implementación de dichos sistemas.

### 3.4. Pruebas del metamodelo

Las pruebas del metamodelo se realizarán sobre un modelo creado con la ayuda de instituciones o personas que trabajan en campos relacionados con los recursos hidrológicos. Este modelo se aplicará en una aplicación web de gestión de recursos hidrológicos.



#### 4. METAMODELO PROPUESTO

Para la definición del metamodelo se presentará una extensión de la especificación UML 2.0, en la que se definen las relaciones permitidas entre los elementos del modelo y el uso de las metaclasses de un metamodelo dentro de un perfil UML. Como aparece en muchos de los perfiles de la OMG, el metamodelo se captura como un modelo orientado a objetos expresado con un subconjunto restringido de la notación UML. Algunos elementos que se utilizan en el metamodelo son: clases con atributos y operaciones, asociaciones binarias y la estructura general del metamodelo se muestra en paquetes de acuerdo con el nivel de detalle, las restricciones se especificarán con lenguaje natural, la semántica de cada elemento se describe junto a cada diagrama. A continuación se muestra el metamodelo en su nivel más alto de abstracción (Figura 1) y los dos perfiles que se consideraron para el mismo (Figura 2 y Figura 3). Posteriormente, se hace una descripción de las metaclasses que pertenecen a cada perfil.

##### 4.1. Perfil muestras

En este perfil se agrupan todos los conceptos asociados con la toma de muestras en campo cuando se requieren para algún tipo de variable. A continuación se describen las metaclasses del perfil muestras.

###### 4.1.1. Punto\_monitoreo:

Hace referencia e identifica una ubicación geográfica del lugar en el que se toman muestras de algún tipo, para su posterior estudio. Tiene una propiedad:

- Localización: propiedad de tipo texto que identifica la ubicación geográfica exacta del punto de muestra.

###### 4.1.2. Variable

Corresponde a las variables en un estudio. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: variable de tipo cadena que sirve para identificarla.
- Unidad: cadena de caracteres que ayuda a identificar la unidad de medida relacionada con la variable, ejemplos de estas unidades pueden ser: metros, grados centígrados, ml, entre otros.

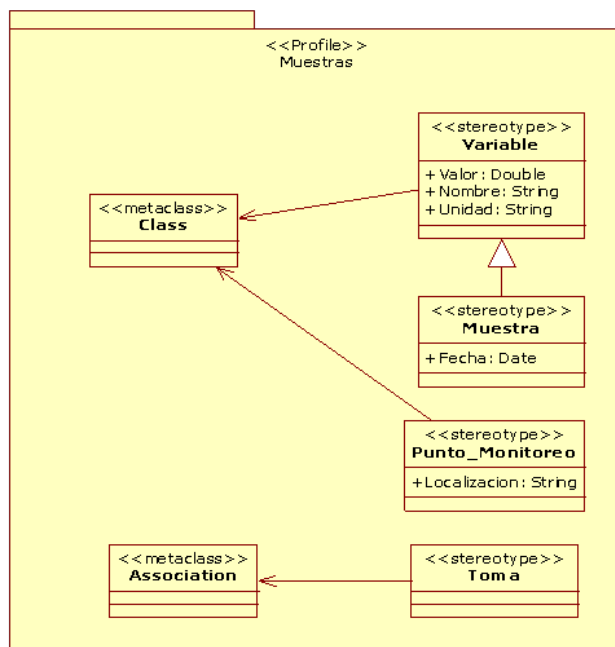


Figura 2. Perfil muestras

- Valor: valor real que almacena el equivalente numérico a una variable.
- Presenta la siguiente restricción: dos variables no pueden tener el mismo nombre.

###### 4.1.3. Muestra

Corresponde al registro de una muestra o medida tomada en un punto de monitoreo, que extiende de la metaclass variable y, por lo tanto, posee todas sus características. Adicional a las anteriores presenta la siguiente propiedad:

- Fecha: variable que da información del momento exacto en el que se tomó la muestra. Presenta la siguiente restricción: el nombre de una muestra sólo puede coincidir con el nombre de otra, siempre y cuando la fecha o lugar en la que se realizó la medida sea diferente a las otras.



## 4.2. Perfil estudios

Este perfil se relaciona con el análisis matemático o sistemático de las variables almacenadas u obtenidas del perfil muestras. A continuación se describen las metaclases del perfil estudios.

### 4.2.1. Estudio

Hace referencia e identifica un estudio que usa una o más fórmulas y que, además, puede estar compuesto por una serie de análisis. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: propiedad de tipo cadena que identifica el nombre o título del estudio.
- Descripción: propiedad de tipo cadena que puede almacenar información específica sobre el estudio.

### 4.2.2. Fórmula:

Representa una fórmula matemática que se aplica para conseguir los resultados de un estudio. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: variable de tipo cadena que sirve para identificar la fórmula.
- Expresión: propiedad de tipo cadena que identifica cómo está formada la fórmula.

La operación calcular se encarga de realizar los cálculos necesarios para encontrar el resultado de una expresión.

Presenta la siguiente restricción: dos o más fórmulas pueden tener el mismo nombre siempre y cuando las expresiones asociadas con éstas sean diferentes.

Tabla 1. Ejemplo de rangos de valores

0 – 5	Mala calidad
6 – 10	Calidad regular
11 – 15	Buena calidad

### 4.2.3. Rango:

Define un intervalo que ayuda a realizar una comparativa de variables en un determinado análisis. Tiene las siguientes propiedades:

- Límite\_superior: variable entera que identifica el límite superior del intervalo.
- Límite\_inferior: variable entera que identifica el límite inferior del intervalo.
- Descripción: propiedad de tipo cadena que describe la equivalencia de una variable o valor que esté comprendido entre el intervalo especificado.

Presenta la siguiente restricción: si se presentan varios rangos asociados con un mismo análisis los límites inferior y superior de un rango no debe estar comprendidos entre los límites de otro rango. Como se muestra en la Tabla 1.

### 4.2.4. Análisis

Contiene o agrupa una serie de rangos relacionados con el análisis o interpretación de una variable. Tiene la siguiente propiedad:

- Descripción: cadena de caracteres que describe el análisis realizado o el uso de un conjunto de rangos que ayuden a identificar aspectos de las variables.

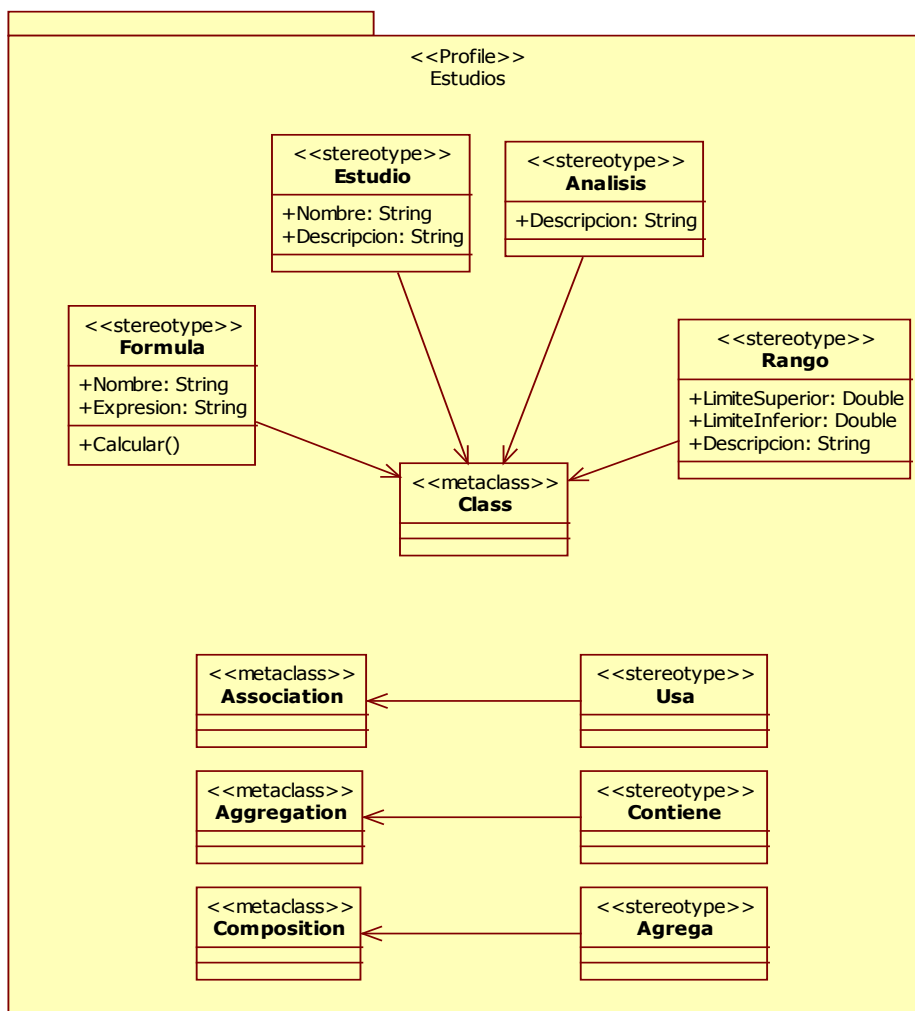


Figura 3. Perfil estudios

### 5. PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Con el fin de verificar las potencialidades del metamodelo, se realizó una implementación dentro de una aplicación web que se basaba en dicho metamodelo. El prototipo incluía un modelo para la gestión del recurso hídrico que sirvió de base para el desarrollo de una herramienta de gestión web basada en AJAX y JSF (Java server faces), que permite la configuración de los estudios hidrológicos y el registro de toma de datos que permiten el cálculo de los estudios (Ver Figura 4).

El prototipo ofrece una interfaz que permite al usuario crear estudios, rangos, valores y colores; de igual forma el sistema permite asociar un algoritmo específico para cada estudio. El sistema cuenta con una calculadora de algoritmos basada en AJAX para la creación y edición de algoritmos para configurar las fórmulas en las que se pueden configurar las variables, las operaciones y los valores de la fórmula que define el algoritmo. De igual forma el sistema cuenta con un módulo de alimentación para realizar el registro de los datos de las muestras, y el análisis de las mismas, a partir de los resultados de los estudios para el análisis de los datos, se tienen dos posibilidades, analizar los datos por porcentaje de variables o analizar la tendencia temporal de los valores de las variables así como de los estudios realizados.

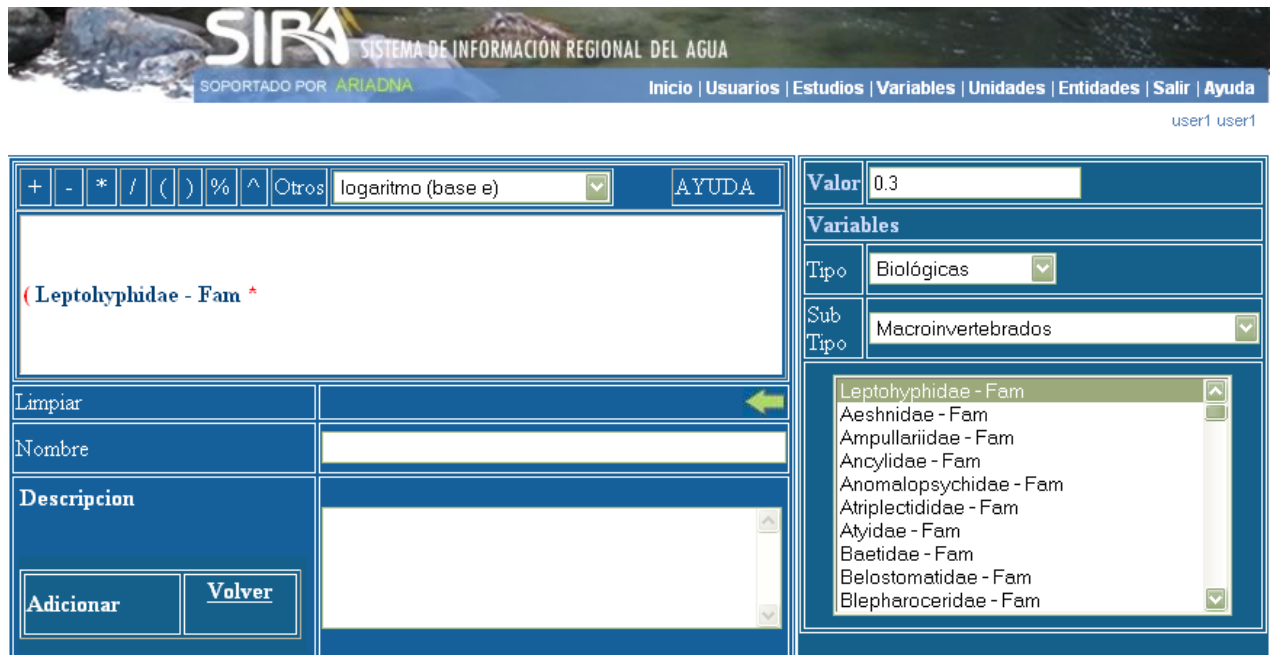


Figura 4. Plataforma para la gestión de los estudios hidrológicos

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los metamodelos son esquemas que se utilizan en diferentes áreas para orientar la construcción de modelos a partir de éstos. Un metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos permite que las entidades y personas encargadas de gestionar dichos estudios lleguen a un consenso en la forma en la que se llevan a cabo dichos estudios para obtener sistemas específicos que contribuyan a una homogenización de la información.

En este artículo se presentan los avances en la *construcción del metamodelo* para la gestión de los estudios hidrológicos. Razón por la cual, como trabajo futuro, se llevarán a unas *pruebas del metamodelo más exhaustivas* contempladas en la metodología. Adicionalmente, se pretende utilizar los conceptos descritos como base para la implementación de una arquitectura en la nube que soporte la toma de decisiones. El metamodelo puede ser la base de la implementación de un XSD Schema para soportar el intercambio de información en un bus de servicios ambientales. Esta iniciativa usará los conceptos de Li et al.[15]. Finalmente, se pretende integrar onto-

logías que permitan avanzar hacia el modelado conceptual con conceptos de las ontologías que especifiquen más detalladamente las conceptualizaciones de este dominio de los recursos hidrológicos.

## REFERENCIAS

- [1] S. Joaquín-Daza, "Gestión ambiental para sistemas productivos piscícolas, en ecosistemas altoandinos en el contexto de la producción más limpia," *Ambiente y Sostenibilidad*, Vol. 1 (1), pp. 18–24, 2013.
- [2] Página principal del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>
- [3] Página principal de Corpoamazonia. Disponible en: <http://www.corpoamazonia.gov.co> (Accedido: agosto 2014).
- [4] Página principal del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php> (Accedido: agosto 2014).

- [5] R. Barthel, S. Janisch, N. Schwarz, A. Trifkovic, D. Nickel, C. Schulz, & W. Mauser, "An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 23 (9), pp. 1095-1121, 2008.
- [6] P- Papajorgji, & T. M. Shatar. "Using the Unified Modeling Language to develop soil water-balance and irrigation-scheduling models". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 19 (5), pp 451-459, 2004.
- [7] F. Jouault and J. Bézivin, "KM3: a DSL for Meta-model Specification," *Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems*, Springer, pp. 171–185, 2006.
- [8] B. Henderson-Sellers," On the mathematics of modelling, metamodelling, ontologies and modelling languages". Springer, 2012, 106p.
- [9] Página principal del Object Management Group site. Disponible en: <http://www.omg.org> (Accedido: Agosto 2014).
- [10] L. Fuentes & A. Vallecillo, "Una introducción a los perfiles UML," *Revista Novatica de la Asociación de Técnicos Informática-España*, N° 168, 2004, pp 6-11.
- [11] J. Bézivin & O. Gerbé, "Towards a precise definition of the OMG/MDA framework" 16th Annual International and Conference on Automated Software Engineering (ASE 2001), pp. 273–280, 2001, San Diego, CA (USA)
- [12] A. G. Kleppe, J. B. Warmer, W. Bast, "MDA explained: the model driven architecture: practice and promise". Addison-Wesley Professional, 2003, 167p.
- [13] OMG Meta Object Facility Core, v2.0, Std., 2006. Disponible en: <http://www.omg.org> (Accedido: agosto 2014).
- [14] P. Desfray, "UML Profiles versus Metamodel extensions: An ongoing debate," *OMG's UML Workshops: UML in the Enterprise: Modeling Corba, Components, XML/XMI and Metadata Workshop*, pp. 6–9, 2000.
- [15] Y. Li, X.-L. Fang, and S.-X. Jiao, "A spatial decision support system for water resource management of Yellow River Basin in China," *Hydraulic Engineering*, p. 83, 2013.
- [16] Página principal del WC3 "W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 1: Structure. 5 April 2012". Disponible en: <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-1> (Accedido: agosto 2014).

## MODELOS DE REQUISITOS BASADOS EN I\* PARA DETECTAR PROACTIVIDAD EN DASHBOARDS

### REQUIREMENTS FOR I\* BASED MODELS TO DETECT PROACTIVITY IN DASHBOARDS

**Alain Pérez-Acosta, Ing.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae)  
La Habana, Cuba  
aperezac@ceis.cujae.edu.cu*

**Mailyn Moreno-Espino, PhD**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae)  
La Habana, Cuba,  
my@ceis.cujae.edu.cu*

(Recibido el 10-02-2014. Aprobado el 20-05-2014)

**Resumen.** El objetivo del trabajo es presentar modelos para la captura de los requisitos de un dashboard para detectar un comportamiento proactivo. Estos modelos siguen un enfoque orientado hacia metas y fueron creados con el marco de trabajo i\*, que toma como base las premisas del modelado social. Para detectar el comportamiento proactivo se usaron patrones basados en modelos de i\* para detectar proactividad en la etapa de requisitos de un sistema de software. Los modelos que se obtienen como resultado del trabajo tienen representados los actores, metas, intenciones, tareas y recursos que se necesitan para modelar los requisitos de un dashboard con un comportamiento proactivo y pueden, además, ser utilizados en distintos contextos de negocio.

**Palabras clave:** Dashboards; i\*; Modelos de requisitos.

**Abstract.** This paper aims to present models for the capture of the requirements of a dashboard that allow detecting a proactive behavior. These models follow a goals oriented approach and were created using the framework i\*, which is based on the premises of the social modeling. In order to detect the proactive behavior patterns based on models of i\* that allow detecting proactivity in the stage of requirements of a system of software were used. In the models obtained as a result of the paper were represented the actors, goals, intentions, tasks and resources necessary to model the requirements of a dashboard with a proactive behavior, and these models can be used in addition in different contexts of business.

**Keywords:** Dashboards; i\*; Requirements models.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los tableros de control (*dashboards*) son actualmente de los sistemas más usados en la Inteligencia de Negocios (BI de *Business Intelligence*) para medir el desempeño de las organizaciones [1]. La meta principal de un *dashboard* es proporcionar información relevante para los directivos acerca del estado de la organización y apoyar la toma de decisiones [1].

Para proporcionar la información relevante de una organización, los *dashboards* visualizan los Indicadores Claves de Rendimiento de la misma (KPIs por sus siglas en Inglés de *Key Performance Indicators*) [2], [3] y utilizan diferentes modelos para identificar, implementar y monitorear métricas para todos los niveles de la organización [3]. Según [1] el mayor reto que existe cuando se construye un *dashboard* es hallar la información que se le debe presentar al usuario para apoyar el proceso de toma de decisiones, o sea, los KPIs. Esto se da porque los KPIs que se muestran en el *dashboard* son estrictamente dependientes de las fuentes de datos y recursos de la organización, así como de las metas particulares de cada usuario. Por tanto, para identificar correctamente estas métricas, se debe tener un profundo conocimiento de la organización, de las metas individuales de cada usuario y de las relaciones que existan entre ellos, así como de los recursos disponibles [1], [2].

El diseño de un *dashboard* involucra múltiples actores, incluidos los usuarios finales y los analistas del negocio [4]. Si en la etapa de requisitos no se tienen en cuenta los diferentes actores que intervienen, las metas y tareas de cada uno, sus relaciones y los recursos que se necesitan para cumplir una determinada meta o tarea, se corre el riesgo de que el *dashboard* no cumpla con los propósitos deseados. Por tanto, esta etapa debe estar basada en un enfoque orientado a metas, puesto que un *dashboard* proporciona la información necesaria para apoyar la toma de decisiones de los directivos en una organización y, por consiguiente, cumplir las metas estratégicas de la misma [5]. De manera general, en la revisión bibliográfica analizada, en el diseño de un *dashboard* no se modelan los requisitos con un enfoque orientado a metas ni se modelan las relaciones de dependencia entre los actores que intervienen. En [3] se propone un marco de trabajo (*framework*) para el diseño de un *dashboard* con base en un conjunto de principios formulados a partir de un proyecto de caso. A pesar de los principios que se exponen en el *framework*, no existe un análisis orientado a metas

ni se proporcionan elementos para modelar las dependencias entre los actores que intervienen en los requisitos del *dashboard* ni las tareas o recursos que se necesitan. Tampoco en [1], [2], [6], [7] se encontraron elementos para modelar los requisitos de un *dashboard* ni los actores que intervienen en el diseño, más bien, el eje en estos trabajos son los KPIs y el diseño de la interfaz visual.

También, en el contexto de requisitos de un *dashboard*, es preciso incorporar un concepto adicional: la proactividad. En la proactividad se trata de tomar el control para hacer que las cosas sucedan y no esperar que ocurran eventualmente [8]. Un *software* con comportamiento proactivo en áreas como la gestión, la toma de decisiones [9], [10], los ambientes asistidos [11], [12] y los sistemas en tiempo real [13] representa un beneficio para el usuario final que lo utiliza. Los *dashboards*, por constituir sistemas que apoyan la toma de decisiones, deben incluir un comportamiento proactivo. En este sentido, se ha investigado sobre trabajos [14] que proponen patrones para detectar proactividad en sistemas informáticos desde la etapa de requisitos, pero ninguno ha abarcado el contexto de los *dashboards* en BI.

El objetivo de este trabajo es presentar modelos para la captura de requisitos de un *dashboard* que tengan incorporados elementos para detectar un comportamiento proactivo. Se usó el *framework* y lenguaje de modelado i\* [15], [16] pues proporciona los artefactos para representar actores y sus dependencias, así como estructurar las metas que la organización pretende lograr [17]. Este *framework* toma como premisa el enfoque del modelado social [15], [16] para la captura de requisitos de un sistema de *software* [14]. Los modelos que se obtienen como resultado del trabajo pueden ser usados cuando se modelen los requisitos de un *dashboard* para diferentes contextos de negocio.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Dashboards

Según se plantea en [7] no existe una definición clara del concepto de *dashboard*, puesto que los vendedores de este tipo de *software* definen los *dashboards* desde una perspectiva de lo que el producto ofrece. Few en [6] define un *dashboard* como una representación visual de la información más importante

para lograr uno o más objetivos, consolidada en una pantalla de manera que pueda ser monitoreada de un vistazo. Una definición más exacta del concepto se expone en [7]: “Es una herramienta visual e interactiva de función administrativa que muestra en una pantalla la información más relevante para lograr uno o varios objetivos individuales o empresariales, permitiendo a los usuarios identificar, explorar y comunicar áreas de problema que necesitan acción correctiva”. Aunque en este trabajo se toma como concepto el expuesto en [7], no se limita el concepto de *dashboard* al contexto empresarial.

## 2.2. Proactividad

Viktor Frankl en [18] plantea que la “Proactividad es una actitud en la que el sujeto asume el pleno control de su conducta vital de modo activo, lo que implica la toma de iniciativas en el desarrollo de acciones creativas y audaces para generar mejoras”.

La proactividad en el contexto informático es cuando un *software* es capaz de exhibir un comportamiento dirigido a metas y toma la iniciativa con el fin de satisfacer sus metas de diseño [19].

## 2.3. Modelado social y lenguaje i\*

La ingeniería de requisitos es un área de la ingeniería de software que va más allá de definir la funcionalidad esperada del sistema de *software* a desarrollar, puesto que establece la relación entre esta funcionalidad y los procesos de negocio de la empresa. La ingeniería de requisitos facilita el mecanismo apropiado para comprender lo que quiere el cliente, analizar necesidades, confirmar su viabilidad y negociar una solución razonable [20], [21].

La captura de requisitos es la actividad mediante la que el equipo de desarrollo de un sistema de *software* extrae, de cualquier fuente de información disponible, las necesidades que debe cubrir dicho sistema [22]. La captura de requisitos incluye varias actividades en las que la interacción con los clientes (*stakeholders*) tiene una importancia primordial [23].

En la ingeniería de software y de sistemas de información la construcción de modelos ha girado en torno a las relaciones estáticas y las propiedades dinámicas y de su comportamiento [16]. Este enfoque es obvio puesto que los modelos conceptuales, al final, se traducen en los datos y las operaciones que

ejecutará la computadora. Sin embargo, un sistema para tener éxito debe funcionar dentro del contexto de su entorno [15].

Si se adopta una visión social del mundo, se puede ver que en éste existe una intencionalidad. La intencionalidad la originan los actores, como los seres humanos. Los actores intencionales tienen necesidades y deseos y realizan acciones para satisfacerlos. Los actores pueden elegir cuáles acciones tomar, lo que los hace autónomos. Los actores no existen de forma aislada, existen en algún entorno y comparten e interactúan con otros [15].

El modelado social, por enfocarse en la etapa temprana de la ingeniería de requisitos, se centra en la dimensión social de los sistemas informáticos y su entorno. En un enfoque social, los intereses estratégicos de los actores deben ser usados para guiar la búsqueda de concepciones alternativas para el nuevo sistema. Cada actor debe proponer sus intereses estratégicos [15]. El modelado social ve la ingeniería de requisitos de una forma orientada a metas. Un análisis de metas revela deseos para identificar conflictos o expectativas. Un modelo orientado a metas puede ayudar a gestionar cambios. Las metas proporcionan criterios y guías para producir y evaluar posibles soluciones [24].

El lenguaje de modelado i\* introduce aspectos del modelado social y del razonamiento sobre los métodos de ingeniería de sistemas de información, especialmente en los requisitos [15]. i\* reconoce la primacía de los actores sociales, quienes son vistos como intencionales, es decir, tienen metas, creencias, habilidades y compromisos. El análisis se enfoca hacia la captura de las metas de los distintos actores por la configuración de las relaciones entre los actores humanos y el sistema. La configuración de estas relaciones puede ayudar a plasmar los intereses estratégicos de los actores [16].

En i\* se propone dividir la captura de requisitos en dos fases: Análisis de requisitos tempranos y Análisis de requisitos tardíos. La primera fase consiste en la identificación y análisis de los principales actores del dominio involucrado en el problema y de sus necesidades e intenciones. La segunda trata de modelar lo más claro posible “qué” debe hacer el futuro sistema [16]. Además i\* hace uso de dos modelos, cada uno con un nivel diferente de abstracción: el nivel intencional, representado por el Modelo de Dependencia Estratégica (*Strategic Dependence Model*,



SD) y el nivel racional, representado por el Modelo Estratégico de Racionalidad (*Strategic Rational Model*, SR) [16]. En el modelo SD se representan los actores y las relaciones entre ellos, mientras que en el modelo SR se representan las dependencias entre los objetos dentro de un actor.

Tanto el modelado social como  $i^*$  pueden aplicarse en áreas como los procesos de negocio de una organización [15]. El uso de modelos para describir y analizar los procesos de negocios de una organización permite comprender el negocio antes de considerar alguna solución tecnológica. Dentro de las características que incluyen la mayoría de las técnicas de modelado de este tipo se pueden mencionar los flujos de información y los diagramas de actividades [15]. Aunque estos modelos son fáciles de comprender y validar por los *stakeholders* y proporcionan un buen punto de partida para soluciones tecnológicas, no describen el por qué de cada cosa. Los modelos de  $i^*$  pueden ser usados para relacionar los procesos de negocios con metas de negocios y proporcionan una visión más social de los procesos de negocio [15].

#### 2.4. Patrones basados en modelos de $i^*$

Para detectar la proactividad se necesita conocer las causas de las dependencias entre los actores (los por qué), es decir, la intencionalidad de las relaciones. A partir de los modelos de  $i^*$  que se obtienen en la etapa de Requisitos tempranos, es posible detectar metas que se pueden complementar de forma proactiva [14]. Según Yu [25] la dependencia es intencional si el objeto del que se depende (*dependum*) está relacionado de alguna manera con la meta o deseo del actor que depende (*dependens*). Las intenciones se pueden delegar al *software* y de esta forma que el mismo trabaje en pos de lograr metas e intenciones, lo que conlleva un comportamiento proactivo [14].

En [14] se presentan varios patrones de requisitos que utilizan como base los modelos de  $i^*$  en las etapas de Requisitos tempranos y Requisitos tardíos. Todos estos patrones tratan con un problema común: actores en los requisitos tempranos con intenciones que denotan un comportamiento proactivo. También se describe la solución para delegar estas intenciones en el *software* que se desarrollará en los Requisitos tardíos.

**Tabla 1.** Actores sociales que intervienen en el diseño de un dashboard

Actor	Descripción
Stakeholder	Representa el cliente final que usará el <i>dashboard</i> . En caso de existir más de una persona que utilizará el <i>dashboard</i> , se puede cambiar el estereotipo de actor por el de rol.
Analista de negocio	Este actor representa la persona encargada de obtener los requisitos del <i>dashboard</i> y los KPIs que serán visualizados.
Diseñador de dashboard	Este actor representa la persona encargada de diseñar la interfaz visual del <i>dashboard</i> cuando se tengan los requisitos y los KPIs.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los modelos obtenidos en la etapa de Requisitos tempranos.

En este modelo se representan tres actores sociales que se describen en la Tabla 1.

En la Figura 1 se ha representado en el modelo SR del actor Stakeholder una jerarquía de metas. El actor Stakeholder tiene una (o varias) meta(s) estratégica(s), que se corresponde(n) con los intereses estratégicos de la organización. Las metas estratégicas se descomponen en varias metas de decisión, que se encargan de responder cómo lograr las metas estratégicas. Cada meta de decisión se descompone en metas de información, que se encargan de responder cómo lograr las metas de decisión. Todo este enfoque sigue la idea que se expone en [17] para la creación de Almacenes de Datos (*DataWarehouses*) [26] a partir de un análisis orientado a metas. En este trabajo se ha adaptado parte de la idea expuesta en [17] para el diseño de un *dashboard*. Para cumplir las metas de información se desarrollan planes que constituyen los medios para lograr la meta "Identificar los requisitos funcionales del dashboard". Los requisitos no funcionales, por tratarse de restricciones de calidad que debe cumplir el sistema, se modelan como un recurso que pertenece al actor Stakeholder. La meta suave "Mantenerse informado sobre el estado del negocio" constituye una intención del Stakeholder que contribuye de forma positiva en el logro de las metas estratégicas y que permitirá denotar un comportamiento proactivo en los Requisitos tardíos.

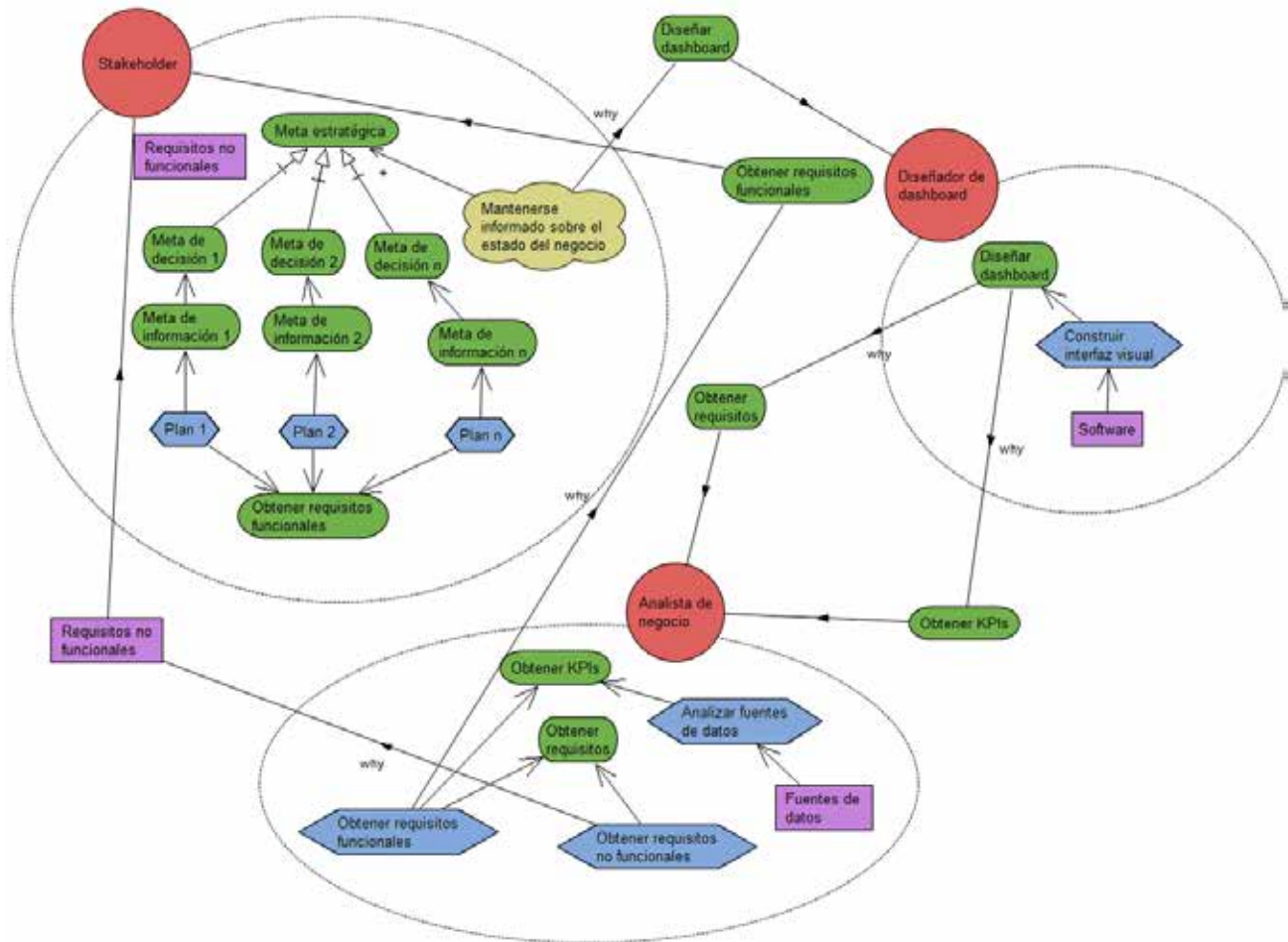


Figura 1. Modelo de Requisitos tempranos en I\*

Las metas del actor Analista de negocio son “Obtener KPIs” y “Obtener requisitos”. La meta “Obtener requisitos” se descompone en dos planes: “Obtener requisitos funcionales” y “Obtener requisitos no funcionales”. El plan “Obtener requisitos funcionales” constituye el por qué se necesita la meta “Identificar requisitos funcionales” del actor Stakeholder; mientras que el plan “Obtener requisitos no funcionales” constituye el por qué se necesita el recurso “Requisitos no funcionales” del actor Stakeholder. Se mencionó anteriormente que los KPIs dependen de las fuentes de datos de la organización, por lo que en el modelo SR del actor Analista de negocio se representa el plan “Analizar fuentes de datos” como un medio para lograr cumplir la meta “Obtener KPIs”. El recurso “Fuente de datos” (que puede ser una base de datos relacional, un fichero, un *DataWarehouse*, etc.) representa un medio para lograr el plan “Analizar fuentes de datos”.

La meta fundamental del diseñador de dashboard es “Diseñar dashboard”, por ello necesita que el actor Analista de negocio cumpla las metas “Obtener KPIs” y “Obtener requisitos”. El plan “Construir interfaz visual” representa un medio para lograr cumplir la meta “Diseñar dashboard”. Para realizar el plan “Construir interfaz visual” se necesita de un sistema de software, que se modeló como un recurso. La intención “Mantenerse informado sobre el estado del negocio” perteneciente al Stakeholder constituye el por qué se hace necesaria la meta “Diseñar dashboard”.

En la Figura 2 se presentan los modelos obtenidos en la etapa de Requisitos tardíos.

En la Figura 2 se modelaron dos actores sociales: el Stakeholder (con el mismo concepto que en la etapa de Requisitos tempranos) y un actor Dashboard, representado con el estereotipo de Sistema que pro-

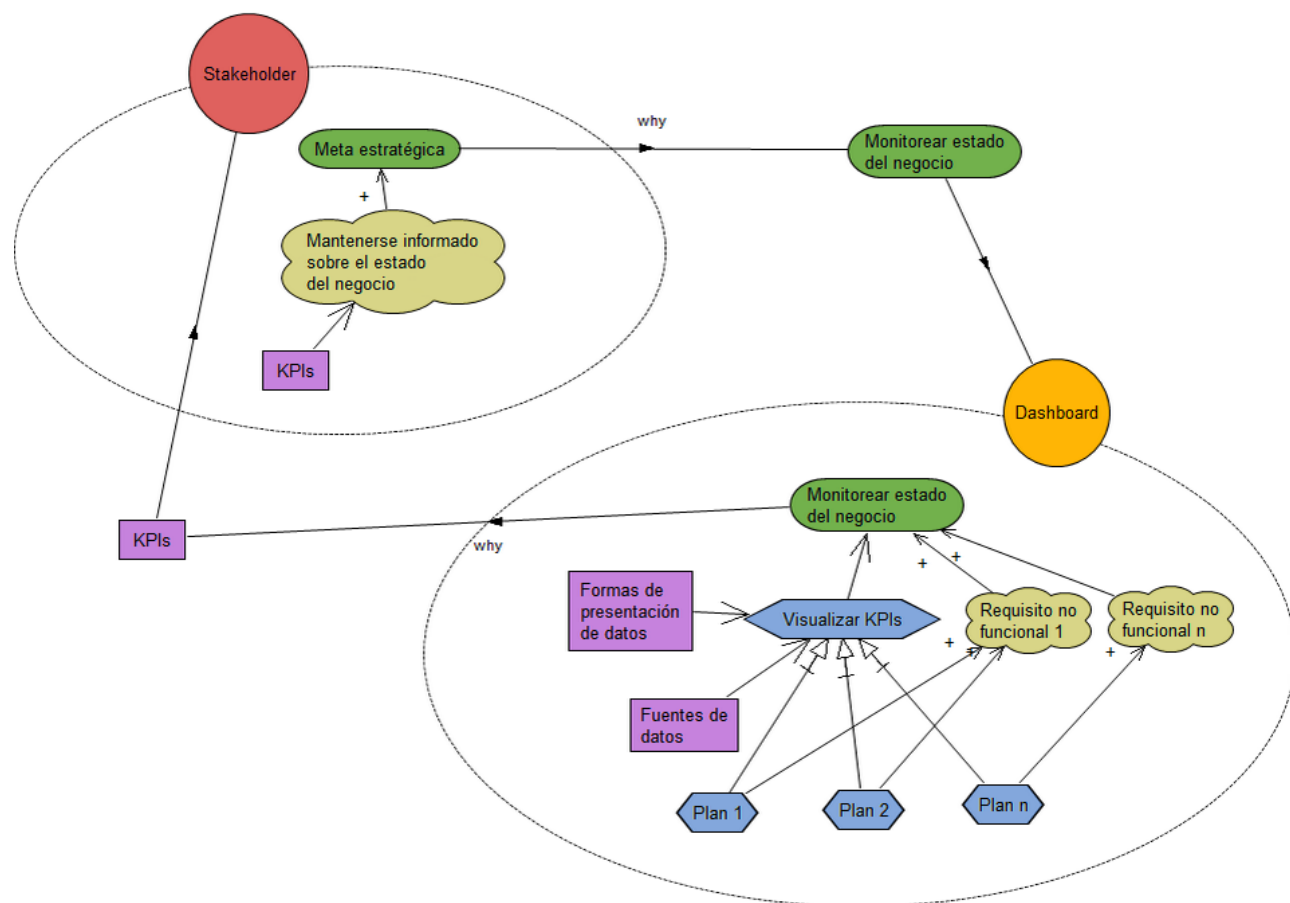


Figura 2. Modelo de Requisitos tardíos en i\*

pone i\*. En el modelo SR del actor Stakeholder no aparece la jerarquía de metas propuesta en los Requisitos tempranos porque solamente proporcionaba una forma para extraer los requisitos funcionales del *dashboard*, y luego los KPIs que respondían a esos requisitos, alineados con las metas estratégicas del Stakeholder. El recurso “KPIs” constituye un medio para complementar la meta suave “Mantenerse informado sobre el estado del negocio”.

En el modelo SR del actor Dashboard se ha modelado la meta “Monitorear estado del negocio”, necesaria para lograr la meta estratégica del actor Stakeholder. Los planes que estaban representados en los Requisitos tempranos como parte del modelo SR del Stakeholder y que constituían la base para extraer los requisitos funcionales del *dashboard*, se modelan en esta etapa como planes del actor Dashboard que deben ser implementados y constituyen los medios

para cumplimentar el plan “Visualizar KPIs”, que a su vez es el medio para cumplir la meta “Monitorear estado del negocio”. El recurso “Fuente de datos” se incorpora también al modelo SR del actor Dashboard como medio para cumplir el plan “Visualizar KPIs”. Además, se agrega el recurso “Forma de presentación de datos” (que pueden ser tablas, componentes gráficos, etc.) como medio para cumplir el plan “Visualizar KPIs”. Los requisitos no funcionales del *dashboard* se representan como metas suaves y además se modela cómo influyen estos requisitos sobre la meta fuerte. También se modelan cómo contribuyen los planes en los que se descompone “Visualizar KPIs” en las metas suaves. Todo ello permite evaluar alternativas de modelos antes de considerar alguna solución tecnológica.

Los modelos presentados en la Figura 2 no permiten detectar un comportamiento proactivo en el *dashboard*, pues la intención “Mantenerse informado sobre el estado del negocio” permanece en el modelo

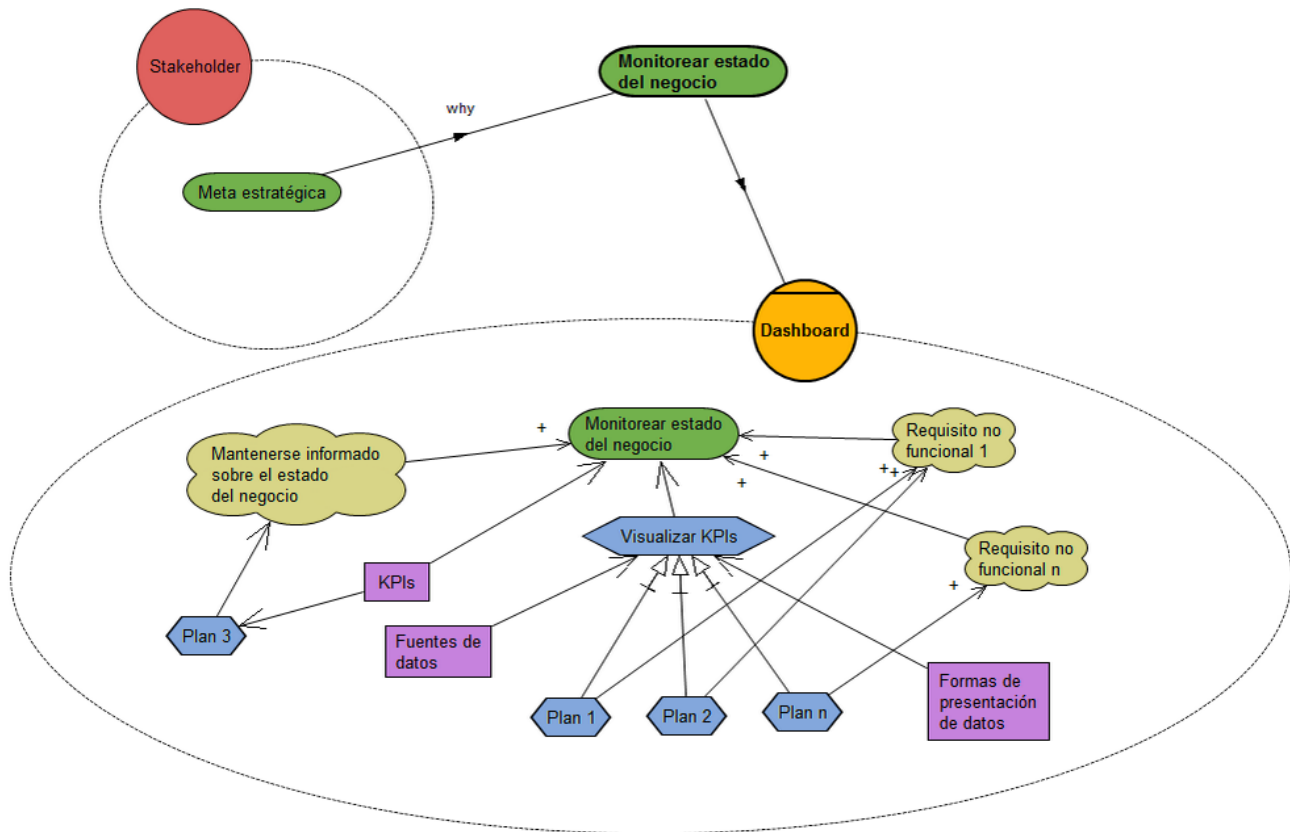


Figura 3. Modelo de Requisitos tardíos en i\* con el uso del patrón.

SR del actor Stakeholder. Por tanto, para modelar un comportamiento proactivo se utilizó el patrón Resource why Dependency, descrito en [14], debido a las características que presentaban los modelos. La entrada de este patrón lo constituyen los modelos de la Figura 2, por lo que en la Figura 3 se muestran los modelos de Requisitos tardíos modificados con un comportamiento proactivo.

En la Figura 3, la intención “Mantenerse informado sobre el estado del negocio” se le delega al actor Dashboard (representado esta vez con el estereotipo de agente [27] propuesto por i\*) lo que denota un comportamiento proactivo. Para cumplir esa intención se hace necesario implementar el plan “Plan 3”, en el que el recurso “KPIs” constituye un medio para lograr dicho plan y también la meta “Monitorear estado del negocio”. El resto del modelo SR del actor Dashboard permanece igual a como se muestra en la Figura 2.

Se hace necesario señalar que los modelos propuestos pueden contener menos o más actores, elementos y relaciones que las expuestas en este trabajo, en dependencia del contexto en el que se apliquen y de lo que se desee modelar. En ese caso, habrá que valorar otros patrones, además del Resource why Dependency si se desea modelar un comportamiento proactivo en el *dashboard*.

#### 4. TRABAJOS FUTUROS

Se pretende desarrollar un *dashboard* con comportamiento proactivo que complemente el Sistema de soporte a la toma de decisiones del proceso docente de una universidad cubana. Los modelos propuestos servirán para capturar los requisitos del *dashboard* con un enfoque orientado a metas.

## 5. CONCLUSIONES

Los modelos obtenidos como resultado de este trabajo permiten capturar los requisitos de un *dashboard* con un enfoque orientado a metas, se usó el *framework i\** y las bases del modelado social, lo que permite detectar un comportamiento proactivo desde la etapa de requisitos.

Con la jerarquía de metas representadas en el actor *Stakeholder*, es posible obtener los requisitos funcionales del dashboard a partir de las metas estratégicas del actor para lograr una independencia entre los modelos y el contexto de negocio (empresarial y docente) en el que se apliquen. No obstante, estos modelos no tienen por qué contener todos los elementos o actores existentes en cada organización, pues esto depende de las características propias de cada entorno. Se sugiere utilizar los modelos como plantillas y modificarlos en dependencia de lo que se desee modelar.

## REFERENCIAS

- [1]. Zagorecki, A., et al., *Executive Dashboard Systems for Emergency Management*. Communications, 2012. 4(2): p. 82-89.
- [2]. Gröger, C., et al., *The Operational Process Dashboard for Manufacturing*. 2013: p. 6.
- [3]. Lempinen, H., *Constructing a Design Framework for Performance Dashboards*, in *Nordic Contributions in IS Research*, C. Keller, et al., Editors. 2012, Springer Berlin Heidelberg. p. 109-130.
- [4]. Elias, M. and A. Bezerianos, *Exploration Views: Understanding Dashboard Creation and Customization for Visualization Novices*, in *Human-Computer Interaction – Interact 2011*, P. Campos, et al., Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 274-291.
- [5]. Eckerson, W.W., *What Are Performance Dashboards?*, in *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business*, John Wiley & Sons.
- [6]. Few, S., *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data* 2006: O'Reilly.
- [7]. Yigitbasioglu, O.M. and O. Velcu, *A review of dashboards in performance management: Implications for design and research*. International Journal of Accounting Information Systems, 2011. 13: p. 19.
- [8]. Grant, A.M. and S.J. Ashford, *The dynamics of proactivity at work*. Research in Organizational Behavior, 2008. 28(-): p. 3-34.
- [9]. Li, J. and Y. Feng, *Construction of Multi-Agent System for Decision Support of Online Shopping*, in *Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, H. Deng, et al., Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 318-324.
- [10]. Srinivasan, S., J. Singh, and V. Kumar, *Multi-agent based decision Support System using Data Mining and Case Based Reasoning*. International Journal of Computer Science Issues, 2011. 8(4): p. 340-349.
- [11]. Lindgren, H., D. Surie, and I. Nilsson, *Agent-Supported Assessment for Adaptive and Personalized Ambient Assisted Living*, in *Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems*, J. Corchado, et al., Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 25-32.
- [12]. McNaull, J., et al., *Multi-agent System Feedback and Support for Ambient Assisted Living*, in *8th International Conference on Intelligent Environments*. 2012: Guanajuato p. 319 - 322.
- [13]. Ghorbani, J., M.A. Choudhry, and A. Feliachi, *Real-time multi agent system modeling for fault detection in power distribution systems* in *North American Power Symposium*. 2012: Champaign. p. 1-6.
- [14]. Moreno, M., *Patrones para incorporar proactividad en sistemas informáticos*. 2013, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana. p. 172.
- [15]. Yu, E., *Social Modeling and i\**, in *Conceptual Modeling: Foundations and Applications*, T.B. Alexander, et al., Editors. 2009, Springer-Verlag. p. 99-121.
- [16]. Yu, E., et al., *Social Modeling for Requirements Engineering*. 1st ed. 2011, Cambridge: The MIT Press. 760.

- [17].Mazón, J.N., J. Pardillo, and J. Trujillo, *A Model-Driven Goal-Oriented Requirement Engineering Approach for Data Warehouses*, in *Advances in Conceptual Modeling – Foundations and Applications*, J.-L. Hainaut, et al., Editors. 2007, Springer Berlin Heidelberg: Berlin. p. 255-264.
- [18].Frankl, V., *Man's Search for Meaning*. 2006: Beacon Press.
- [19].Jennings, N.R., *An agent-based approach for building complex software systems*. Communications of the ACM, 2001. **44**(4): p. 35-41.
- [20].Sommerville, I., *Integrated Requirements Engineering: A Tutorial*. IEEE Software, 2005. **22**(1): p. 16-23.
- [21].Sommerville, I. and P. Sawyer, *Requirements Engineering: A Good Practice Guide*. 1st ed. 1997: John Wiley & Sons. 404.
- [22].Jacobson, I., G. Booch, and J. Rumbaugh, *The Unified Software Development Process*. reprint ed. 2012: Prentice Hall.
- [23].Fuentes-Fernández, R., J. Gómez-Sánchez, and J. Pavón, *Understanding the human context in requirements elicitation*. Requirements Engineering, 2010. **15**(3): p. 267-283.
- [24].Horkoff, J. and E. Yu, *Comparison and evaluation of goal-oriented satisfaction analysis techniques*. Requirements Engineering, 2013. **18**(3): p. 199-222.
- [25].Yu, E., *Modelling Strategic Relationships for Process Reengineering*, in *Department of Computer Science*. 1995, University of Toronto: Toronto, Canadá.
- [26].Inmon, W.H., *Building the Data Warehouse*. 4th ed. 2005, Chichester: Wiley.
- [27].Burg, B., *Foundation for Intelligent Physical Agents*. 2004.

## LA INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS EN LAS PEQUEÑAS EMPRESAS DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA

### ENGINEERING REQUIREMENTS IN SMALL BUSINESS WITHIN THE DEPARTMENT OF RISARALDA

**Cristian Andrés De-La-Cruz-Londoño, Ing.**

*Grupo de investigación GIDTA.  
Universidad Católica de Manizales  
Manizales, Colombia  
cdelacruz@ucm.edu.co*

**Gustavo Andrés Castro-Guevara, Ing.**

*Facultad de Ingenierías  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Pereira, Colombia  
gcastro@lucasian.com*

(Recibido el 02-02-2014. Aprobado el 20-04-2014)

**Resumen.** La finalidad de este artículo es mostrar el estado actual del proceso de ingeniería de requerimientos en las pequeñas empresas que desarrollan software en el departamento de Risaralda, además de observar cómo se aborda esta área desde la academia. Para lograr esto se estructuraron dos herramientas: encuesta y entrevista y una búsqueda teórica. Se optó por conocer la percepción de las personas relacionadas con esta área y las temáticas fueron Stakeholders, priorización, dependencias, trazabilidad, diseño centrado en usuario (DCU), restricciones, documentación, requerimientos funcionales, requerimientos no funcionales, meta-modelos y técnicas usadas para elicitación. Para el caso de la industria la media ponderada es de 4,1 (en una escala de 1 a 5) de lo que se concluye que las empresas se encuentran algo de acuerdo con su experticia para el desarrollo de la ingeniería de requerimientos.

**Palabras clave:** Elicitación; Herramientas; Industria, Metodología; Requerimientos; Requisitos; Software; Stakeholders; Técnicas.

**Abstract.** The purpose of this paper is to show the current state of the process of engineering of requirements in the small companies developing software in Risaralda department, and besides to check the way how this area of knowledge is approached by the academic sector. To do this, we created two tools which were: survey and interviews; additionally, a theoretical search was done. We chose to study the perceptions of those involved in this area, and the topics covered were: Stakeholders, prioritization, dependencies, traceability, user-centered design (UCD), restrictions, documentation, functional and non-functional requirements, meta-models and elicitation techniques. In the case of industry, the average is 4.1 (on a scale of 1-5) from there, it is concluded that the companies agree in some aspects according to their expertise in the development of engineering of requirements.

**Keywords:** Elicitation; Industry; Methodology; Requirements; Software; Stakeholders; Techniques; Tools.



## 1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería de requerimientos es una área que se puede tratar desde diferentes perspectivas, como lo son los métodos que definen procesos para su adquisición y administración, los lenguajes o metamodelos que permiten realizar sus especificaciones, la innovación que puede presentarse frente a la ingeniería de requerimientos, software existente para la administración de los requerimientos, entre otros. La ingeniería de requisitos es en esencia la aplicación de principios, métodos, técnicas y herramientas con el propósito de descubrir los requisitos de un producto de software, al igual que el análisis, la documentación de objetivos, funciones y restricciones de dichos sistemas; sin embargo, existe una falencia, es decir, no hay consenso sobre lenguajes, métodos o herramientas para su ejecución [1], más aún, como lo define Ackoff: “Fallamos más a menudo porque resolvemos el problema incorrecto que porque obtenemos una solución deficiente del problema correcto” [2], por ende, es necesario profundizar en la búsqueda de estrategias que permitan mejorar y potenciar esta área. Para la ingeniería de requerimientos es importante ocuparse de la identificación de objetivos para un sistema propuesto, la operación y la conversión de estos objetivos en los servicios y restricciones. [3].

El mantenimiento del software sostiene el producto en todo su ciclo de vida (desde el desarrollo hasta las operaciones). Las solicitudes de modificación se registran y se realiza seguimiento, se determina el impacto de los cambios propuestos, tanto el código y otros artefactos de software se modifican, se lleva a cabo el proceso de pruebas y una nueva versión del producto de software se libera [4]. Allí es fundamental la trazabilidad de requerimientos por cuanto describe y sigue la vida de un requisito desde su origen, desarrollo, especificación, distribución y uso [5].

El estudio se enfoca en las pequeñas empresas desarrolladoras de software puesto que la mayoría de empresas no posee un músculo económico fuerte para implementar y mantener un modelo de calidad como lo es, por ejemplo, CMMI y, por ende, sus procesos en ingeniería de software no están claramente definidos. Si nos centramos en la situación actual colombiana, es fácil inferir que las pequeñas y medianas empresas son el motor del país. Según un estudio del Centro de investigaciones de la Escuela de Finanzas y Comercio Exterior de la Universidad Sergio Arboleda, éstas generan más del 50% del

empleo nacional, significa el 36% del valor agregado industrial, el 92% de los establecimientos comerciales y el 40% de la producción total del país [6].

## 2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

### 2.1. Revisión teórica

La ingeniería de requisitos cada vez cobra mayor importancia tanto en la academia como en la industria porque se espera que existan más funciones centradas en el usuario, de mayor calidad y seguridad, por tanto, es preciso comprender las situaciones que afectan dicha práctica [7]. Por otra parte, existen aspectos geográficos en los que los equipos de software se encuentran distribuidos de manera global y uno de los inconvenientes que puede afrontar la industria responde a la pregunta ¿qué técnica de elicitación de requisitos de software se debería aplicar cuando el cliente o el usuario se encuentra ubicado de manera remota? [8]. A continuación se describirán algunos referentes teóricos relacionados con los principales inconvenientes que se presentan en esta área:

En gran número de casos las empresas, a pesar de conocer la importancia de la ingeniería de requerimientos, optan por hacer de forma empírica esta actividad, como lo menciona Toni Granollers: “La comunicación con los usuarios es un aspecto prioritario para las empresas que desarrollan sistemas software; aun así confían más en la experiencia acumulada que no en la aplicación de métodos pensados para capturar la experiencia de los usuarios y sus verdaderas necesidades(...)”; sin embargo, se suele responsabilizar al usuario por no describir correctamente sus necesidades, que cambia de pensamiento fácilmente, que tiene diferentes puntos de vista o simplemente que no sabe cómo diseñar un producto interactivo. “Lo que nunca piensan es que si hubieran aplicado correctamente las técnicas del análisis de requisitos centradas en los usuarios se habrían ahorrado estos problemas y los usuarios estarían satisfechos” [9]. Pese a la importancia de la especificación de requisitos y que esta es una tarea bien entendida aún se realiza selección de técnicas de forma subjetiva, por dos razones: 1. Los conocimientos sobre la cantidad de técnicas disponibles actualmente son limitados y se desconoce una gran cantidad de técnicas, 2. La información de la que disponen en relación con las técnicas es de tipo pro-

cedimental (es decir, centrada en la técnica), y la información pragmática (es decir, centrada en cuándo usar la técnica) es casi inexistente [10].

Además, se observa que las pequeñas empresas manejan sus requerimientos de forma que no guardan relación con lo que se dice en los textos, y pareciera no interesarles las investigaciones en esta área [11]. Es común ver que en las pequeñas empresas manejan la ingeniería de requisitos de forma diferente, cada una realiza la elicitación y comunicación de requerimientos con diferente grado de planificación, estructura y documentación y consideran que cada elección es natural [12].

La calidad del software depende de la calidad de los requisitos y ésta de las técnicas utilizadas para elicitación [12]. No obstante el desarrollo de software es una actividad en la que es necesaria la cooperación y colaboración de muchas personas. Y, como lo menciona Sergio Zapata, no sólo se intervienen aspectos técnicos sino también culturales, sociales, económicos y psicológicos. Estos aspectos llevan a que la comunicación entre los ingenieros de requisitos y los usuarios-clientes sea, en algunas ocasiones, compleja y puede llevar a desacuerdos culturales, organizacionales, falta de confianza mutua o capacidades para la resolución de conflictos [8].

A pesar de que la mayoría de las empresas asegura el uso de una metodología, ésta no se aplica de forma correcta. Para el caso de las empresas de software de la ciudad de Cali (Colombia) en el 48.7% la industria no establece criterios para la aceptación de los requerimientos, el 43.6% no realiza administración de requerimientos [13], en la misma línea para el caso de Santiago de Chile (Chile) en el que se observa que las empresas emergentes no cuentan con el personal calificado, tienen escasos recursos o no se encuentran roles definidos en la organización [14], de manera similar en Nueva Zelanda se observa que la industria no hace uso de herramientas de soporte de la ingeniería de requerimientos y, cuando se indaga por estas herramientas, sólo unas pocas asocian a Rational, Trac, Together and door con herramientas que soportan la ingeniería de requerimientos. Los principales problemas que identifican son los cambios en el alcance y en los requerimientos, aceptación del cliente para costos, tiempo y esfuerzo necesarios para la fase de requisitos y calidad de las especificaciones [15]. Así mismo, las técnicas de entrevista y encuesta suelen ser las más usadas para hacer elicitación [2].

Entre los principales ítems sobre la ingeniería de requerimientos se encuentran: alta frecuencia de revisión de cambios en requerimientos, aumento del número de requerimientos, pocas capacidades para confirmar la trazabilidad y cambios en los requerimientos [16], otro inconveniente es el uso de lenguajes naturales, lo que produce ambigüedad entre los requerimientos o conflictos entre los interesados [17], además, la insatisfacción en el análisis del software puede darse por los siguientes factores:

1. Fallas no relacionadas con técnicas de elicitación,
2. Fallas causadas por la falta de efectividad en las técnicas de elicitación,
3. Falta de disponibilidad que produce mal uso de técnicas de elicitación [18].

Con respecto a las técnicas usadas en elicitación es oportuno expresar que las entrevistas sirven para obtener una comprensión general de lo que hacen los stakeholders y cómo podrían interactuar con el sistema y las dificultades a las que se enfrentan con los sistemas actuales. A la gente le gusta hablar sobre su trabajo y normalmente se alegra de verse implicada en las entrevistas. Sin embargo, no son de tanta utilidad para la comprensión de los requerimientos del dominio de la aplicación [19].

Del mismo modo, en la fase de especificación de requerimientos es posible que se presenten inconvenientes, entre los que se pueden mencionar que los requerimientos no son obvios y viene de muchas fuentes, son difíciles de expresar en palabras (se crea ambigüedad), la cantidad de requerimientos se torna difícil, los requerimientos pueden cambiar a lo largo de ciclo de vida, los usuarios no explican lo que hacen, se recuerda la excepción pero se olvida lo rutinario, se habla de lo que no funciona, existe un vocabulario distinto entre usuarios y desarrolladores, se hace uso de los mismos términos para diferentes significados, el nivel de detalle es vago, algunos requerimientos son más importantes (o estables) que otros, existe relación entre los requerimientos y, por último, cada uno tiene funcionalidades únicas y abarcan áreas funcionales específicas [20], [21]. Otros mencionan que las metodologías han sido concebidas para sistemas alfanuméricos, en los que no existen atributos espaciales y que por existir stakeholders heterogéneos y complejidad de la información, se producen inconvenientes en el momento de aplicar ingeniería de requerimientos [22].

**Tabla 1.** Herramientas e intencionalidad para cada uno de los perfiles.

Perfil	Herramientas aplicadas	Intencionalidad.
Pequeñas empresas	Entrevista – Encuesta	Conocer el grado de madurez de las empresas desarrolladoras de software.
Sector pregrados universitarios	Encuesta	Identificar cómo se encuentran estructuradas las temáticas relacionadas con la ingeniería de requerimientos y cómo se abordan en el pensum académico.
Sector egresados	Entrevista	Conocer la percepción de los egresados sobre los conocimientos que fueron adquiridos en sus estudios de pregrado en el área de la ingeniería de requerimientos.

Otros aspectos complejos relacionados con la elicitación se presentan por las fronteras del sistema que no se encuentran bien definidas, los detalles técnicos pueden confundir (más que aclarar), problemas de comprensión por parte del cliente, quien no está totalmente seguro de lo que necesita o tiene dificultades para comunicar sus necesidades [23].

## 2.2. Metodología

Se optó por conocer la percepción de las personas relacionadas en esta área tanto desde lo laboral como desde lo académico, además de hacer búsqueda teórica de los problemas que presenta esta área. Para lograrlo se estructuraron dos herramientas, encuesta y entrevista, que forman un componente mixto en la investigación en la que se aportan técnicas cualitativas y cuantitativas [24].

Para este proceso se estructuraron tres perfiles (de los que se deseaba evaluar su percepción), que fueron:

- Sector pequeñas empresas relacionadas con el desarrollo de software.
- Docentes y directores de pregrados universitarios de ingeniería de sistemas.
- Egresados de pregrados en ingeniería de sistemas.

A continuación se relacionan las herramientas e intenciones para cada uno de los perfiles.

### 2.2.1. Ficha técnica.

**Tabla 2.** Ficha técnica de la encuesta.

<b>Diseño muestra</b>	Muestra por convención.
<b>Población objetivo</b>	Pequeñas empresas de la región de Risaralda.  Egresados de programas en ingeniería de sistemas.  Directores y docentes programas académicos en ingeniería de sistemas.
<b>Técnica</b>	Encuesta con escala Likert.  Entrevista tipo mertenes.
<b>Tamaño de la muestra</b>	9 empresas de la región de Pereira.  16 egresados.  1 institución universitaria.
<b>Momento estadístico</b>	Mayo 2014-Julio 2014
<b>Financiación</b>	Recursos propios.

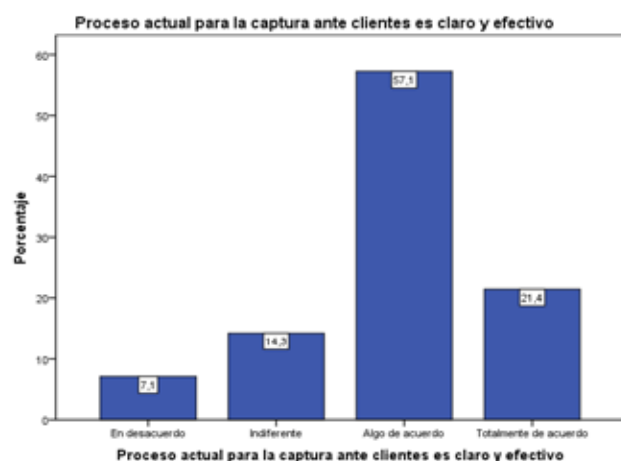
### 2.2.2. Análisis de fiabilidad

Al realizar análisis de correlación interna entre los ítems se identifica que existe un grado de fiabilidad de los datos, esto se constata cuando se aplica un estadístico de fiabilidad en el que se observa que el alfa de cronbach( $\alpha$ ) es de 0,863, el cual se encuentra en un valor cercano a uno y, como lo menciona Hernández, Fernández y Baptista en su libro “Metodología de la investigación” el valor uno representa el nivel máximo de confiabilidad total. Para nuestro caso, por obtener un valor aproximado al 0.87, es posible afirmar que se tiene una confiabilidad aceptable [24].

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Análisis de resultados en empresas

En primer lugar, se preguntó por el nivel de aceptación acerca de qué tan claro y efectivo es el proceso para realizar captura de información ante los clientes, en el que el 57,1% los encuestados manifiesta que se encuentra algo de acuerdo, en contraposición con el grado de desacuerdo que es del 7,1%.



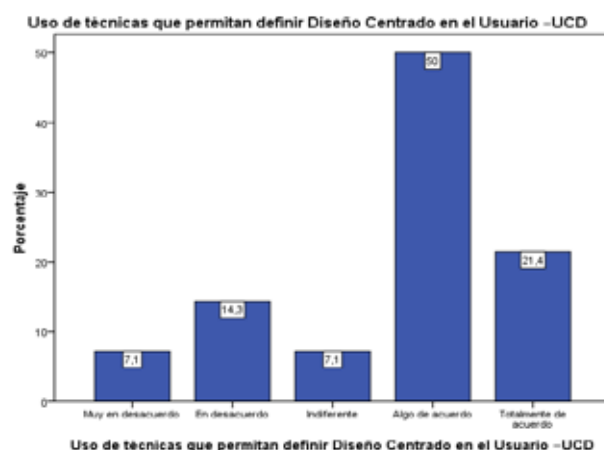
**Figura 1.** Proceso captura información es claro y efectivo.

Sobre la identificación de stakeholders se nota que más del 57% de los encuestados se encuentra de acuerdo con la forma en la que las empresas identifican al grupo de personas involucradas en los proyectos. De forma semejante, al contrastar estos datos con la entrevista, se observa que la forma que más se destaca para identificar los stakeholders en cada proyecto son:

1. Elegir una persona dentro de la compañía para definir los usuarios, por lo general el gerente o la persona que paga por el desarrollo.
2. Definirlos según el organigrama de la compañía.
3. Identificar los usuarios finales.

En particular, se observó que en el caso de existir conflictos entre requerimientos no se hace uso de grupos de stakeholders y, por lo general, esta decisión la toma la persona que tiene más poder de decisión por parte del cliente, que está en relación con la persona que paga el desarrollo.

Como lo menciona Mate: “Después de obtener los requerimientos de los stakeholders, deben ser analizados en el contexto de requerimientos de negocio (perspectiva de gestión) la rentabilidad como tal, la organización y los requisitos políticos. Además, las relaciones entre requerimientos, es decir, dependencias, conflictos, superposiciones, omisiones e inconsistencias deben ser examinados y documentados” [25].



**Figura 2.** Uso de diseño centrado en el usuario

Al preguntar a los encuestados sobre el uso de técnicas para definir diseños centrados en el usuario, se observa que más del 50% se encuentra de acuerdo acerca de la creación de software que se enfoca en las aplicaciones de fácil uso para los usuarios.

Sobre las técnicas que se aplican en los procesos de ingeniería de requerimientos, los encuestados mencionan, con un 57,1% que las técnicas que aplican para el proceso de ingeniería de requerimientos deben cambiar, según el tipo de proyecto; sin embargo, esta es una de las preguntas en las que más se marca la polaridad de las respuesta ya que se encuentran opiniones divididas entre las empresas.

Por otro lado, más del 42,9% de los encuestados se encuentra de acuerdo sobre la priorización que se debe realizar en cada iteración. Al sumar las respuestas de los encuestados que se encuentran algo de acuerdo y totalmente de acuerdo, se obtiene un 85,8% de aceptación. Al confrontar esta información con las entrevistas, se advierte que los métodos para priorizar en las empresas son:

1. Según criterio y decisión del cliente.
2. Construcción de módulos que lleven de manera rápida versiones de un producto funcional.
3. Construcciones de módulos que permitan al cliente obtener un retorno a la inversión (ROI) de manera rápida.

La priorización temprana indica qué partes del negocio se deben investigar primero y qué se puede ignorar sin problemas hasta más tarde o, en algunos ca-

sos, abandonar. Además, se utiliza una priorización inicial para guiar sus iteraciones y la planificación de la versión [26]

Para los encuestados es claro definir cuáles son los requerimientos no funcionales (atributos de calidad) que debe cumplir el sistema y que éstos se deben definir. El 57% de los encuestados se encuentra algo de acuerdo en que para las empresas es clave definir los atributos de calidad que debe cumplir el sistema. Además, según las entrevistas, éstos se obtienen en las primeras etapas del proceso de ingeniería del software y, en algunos casos, las etapas de análisis y diseño es donde más se identifican.

Por otra parte, los encuestados manifiestan que en un 35,7% existe total acuerdo acerca de la definición de las dependencias y su respectivo análisis de impacto entre los requerimientos funcionales y no funcionales, incluso, al sumar el grupo de encuestados que se encuentra algo de acuerdo y total de acuerdo, se advierte un 64,3% de encuestados que se encuentra de acuerdo frente a este ítem.

De modo similar, según las entrevistas hechas, en las empresas los métodos comúnmente usados para analizar y verificar dependencias son:

1. Realizar revisión de todos los requerimientos y verificar cuáles se cruzan.
2. Usar formatos que permitan identificar ambigüedades en los requerimientos.
3. Usar la matriz de trazabilidad.



Figura 3. Definición de requerimientos no funcionales.

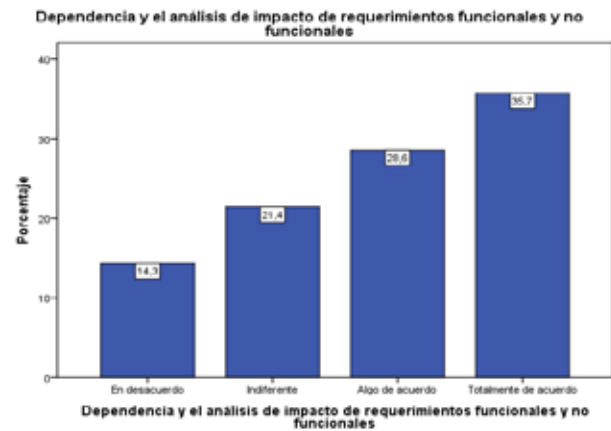


Figura 4. Dependencia y análisis de impacto

Sobre la trazabilidad y gestión de cambios que realizan de los requerimientos durante el transcurso del proyecto el 50% de los encuestados se encuentra totalmente de acuerdo, además los encuestados que se encuentran algo de acuerdo y totalmente de acuerdo representan el 71,4%, de modo contrario, ninguno de los encuestados manifiesta algún grado en desacuerdo. Al observar las respuestas de los entrevistados sobre cómo realizan gestión y trazabilidad, se halló que los métodos más usados son:

1. Matriz de trazabilidad.
2. Formatos para gestión de cambios.

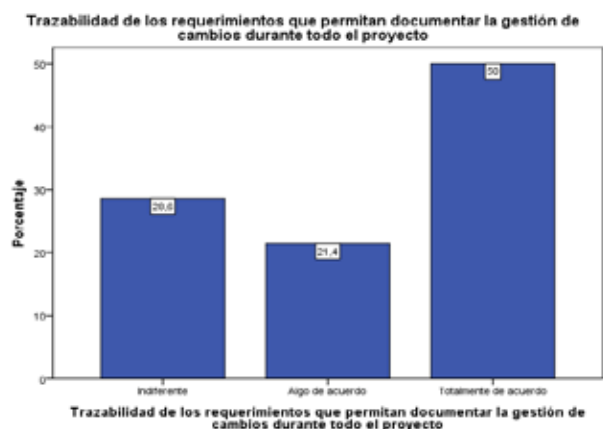


Figura 5. Trazabilidad de los requerimientos.

Por otra parte, se observa que más del 35,7% de las empresas está algo acuerdo con el uso de meta-modelos para especificar los requerimientos del sistema, del mismo modo si tomamos éstos con los que se encuentran totalmente de acuerdo, se concluye que un 64,3% de encuestados manifiesta el uso de meta modelos para especificar los requerimientos.

### 2.3.2. Análisis del uso de técnicas en ingeniería de requerimientos en las empresas

Se observa que la técnica más usada por las empresas es la entrevista y el prototipado. Caso contrario se observa con las técnicas de etnografía, card sorting, introspección, análisis de dominio y análisis de tareas, que son muy poco usadas.

### 2.3.3. Análisis agrupado de los resultados por empresas

Al analizar los datos generales de empresa, se usó el valor medio ponderado para identificar el valor por cada una de las nueve empresas. Este valor constituye una medida de tendencia central en la que se asigna un peso a cada clase y un promedio de los pesos [27], además, cada uno de los valores se le pondera de acuerdo con su importancia con el grupo general [28].

Se puede observar que la mayoría de empresas presenta una percepción superior a 4 (en escala de 1 a 5), por ende, para la mayoría se encuentra algo de acuerdo con respecto al proceso de ingeniería de requerimientos. Así mismo, la empresa con la percepción más baja en su proceso, ha obtenido una puntuación de 2,6% y la más alta de 4,6%.



Figura 6. Uso de técnicas de elicitación en la industria

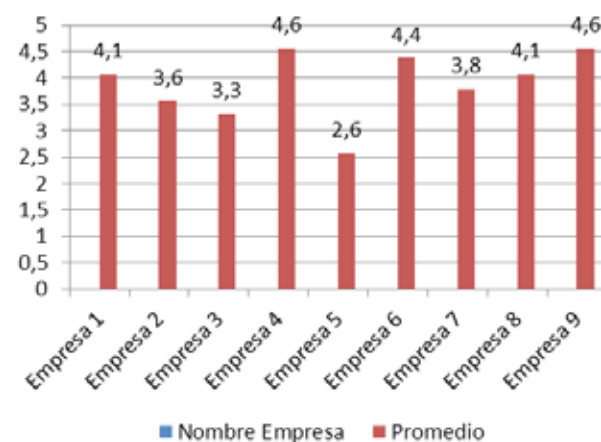


Figura 7. Media ponderada por empresa

De otro modo, la media ponderada total de las empresas es de 4,1 de lo que se concluye que las empresas se encuentran algo de acuerdo con su experticia para el desarrollo de la ingeniería de requerimientos. En la Figura 7 se puede observar la percepción general de cada una de las empresas.

### 2.3.4. Análisis de resultados en pregrados y egresados

El primer ítem para indagar fue los tópicos que componen la ingeniería de requerimientos y si son impartidos en una única materia. Los egresados y docentes manifestaron, en un 75%, que no es así y estos temas son brindados en diferentes materias del currículo. Posteriormente, se indagó por las técnicas de elicitación y si son abordadas durante el pregrado. En éste se observa que el 56,3% de los encuestados manifiesta que sí se imparten técnicas de elicitación. En cuanto a priorización de requerimientos el 81,3% manifestó desconocimiento sobre este tema.



En un segundo lugar, a los encuestados se les indagó por las técnicas de elicitación de las que adquirieron conocimiento en el pregrado. Para ésta, según el Gráfico 8, se observa que se destacan cuatro técnicas para hacer elicitación, que son prototipado, lluvia de ideas, cuestionarios y entrevistas, las otras seis técnicas preguntadas son dadas en muy baja proporción y, para el caso de las técnicas de introspección y card sorting las desconocen por completo.

### 3. TRABAJOS FUTUROS

Al identificar que es complejo lograr una comprensión clara de los requerimientos entre stakeholders y grupos de desarrolladores, se propone indagar acerca de la generación de técnicas y herramientas para reducir la brecha que se produce cuando se usa el lenguaje natural como medio de comunicación en la elicitación de requerimientos. En este mismo sentido, se encontró dificultad en el momento de identificar los requerimientos que tienen cierto tipo de contradicciones, conflictos o problemas entre sí (que no son tan obvios a simple vista), por ende, surge la necesidad de crear una metodología o herramienta que ayude a solucionar este problema.

### 4. CONCLUSIONES

- En términos generales las empresas sienten que poseen un buen proceso para realizar ingeniería de requerimientos, esto es más notorio en temas relacionados con validación de requerimientos ante el cliente y la verificación de dependencias y gestión de cambios con matrices de trazabilidad, en las que es alto el grado de aceptación de las empresas. Sin embargo, se evidencia que es complejo interpretar de manera clara las solicitudes hechas por los clientes, más aún cuando en ocasiones los clientes no conocen del todo las dificultades que desean resolver con el uso de la tecnología.
- La selección de stakeholders por las empresas es muy básica por cuanto es muy común que deleguen a una persona dentro de la organización para identificar los involucrados o simplemente para dirigirse a la persona que paga el desarrollo y, como lo menciona Mary Ann Crow, profesional certificada en PMP, que identificar los stakeholders “es uno de los más

### Técnicas enseñadas según universidades y egresados

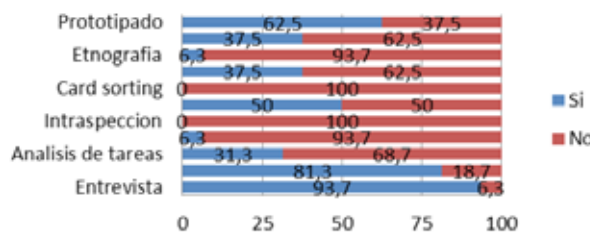


Figura 8. Técnicas de elicitación impartidas en pregrado

importantes para establecer las bases tempranas dirigidas a la planificación, ejecución y monitoreo y control de la información y comunicación del proyecto para alcanzar el éxito”. [29]

- Para los programas de pregrado la ingeniería de requerimientos es un tema que debería tomarse con más rigor; primero, se evidencia que los tópicos no se encuentran concentrados en una materia relacionada sólo con esta área y, segundo, se nota un grado de desconocimiento en la realización de priorización de requerimientos, el diseño centrado en el usuario, las técnicas para clasificar stakeholders, las herramientas para medir dependencias e impacto y la medición de trazabilidad. Son muy básicos los conocimientos que adquiere el estudiante sobre las técnicas para efectuar elicitación de requerimientos.
- Es preciso observar el contraste entre la teoría y la práctica, en la que las empresa manifiestan un grado de satisfacción con respecto al proceso de ingeniería de requerimientos interno de cada una de las empresas; sin embargo, cuando se analizan los procesos (métodos, técnicas y herramientas) que aplican, se identifica que en la mayoría de casos se está distante de ser modelos para replicar como casos de éxito en otras empresas del sector.



## REFERENCIAS

- [1] Alarcón, A., & Sandova, E. "Herramientas case para la ingeniería de requisitos". pp. 70-74. 2008
- [2] Antonelli, L., & Oliveros, A. "Fuentes utilizadas por desarrolladores de software en Argentina para elicitar requerimientos". Buenos Aires: Laboratorio de investigación LIFIA. 2002
- [3] Aurum, W. "Engineering and managing software requirements". Sydney, Australia. 2005.
- [4] Bourque, P., & Fairley, R. Swebok. Nd: IEEE Computer society. 2004.
- [5] Gotel, O., & Finkelstein, A. "An Analysis of the Requirements Traceability Problem". Londres, 1994.
- [6] Zambrano, A. N. Disponible: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis189.pdf> Junio de 2005.
- [7] Westfall, L. "Las fallas en la ingeniería de requisitos". Revista Facultad de ingenierías USBMed, 40-47. 2011
- [8] Zapata, S. "Efectividad de Técnicas Tradicionales de Elicitación de Requisitos de Software". Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, mayo de 2013.
- [9] Granollers, T. "Análisis de Requisitos". 2014 Disponible: <http://www.grihotools.udl.cat/mpiua/fases-mpiua/analisis-de-requisitos/>
- [10] Carrizo Moreno, D. "Marco para la selección de técnicas de educación de requisitos". Madrid, España. Mayo de 2009.
- [11] Aranda, J., Easterbrook, S., & Wilson, G. "Requirements in the wild: How small companies do it. IEEE International" Conference on Requirements Engineering (págs. 39-48). New Delhi: IEEE. 2007.
- [12] Aranda, G., Vizcaíno, A., & Cechich, A. "Mejora del Proceso de Elicitación de Requisitos en Proyectos GSD. Buenos Aires", Buenos Aires, Argentina. 2007
- [13] Merchan, L., Urrea, A., & Rebollar, R. "Definición de una metodología ágil de ingeniería de requerimientos para empresas emergentes de desarrollo de software del sur occidente colombiano". Revista científica Guillermo de Ockham, 37-50. 2008.
- [14] Quispe, A., Marques, M., Silvestre, L., Ochoa, S., & Robbes, R.. "Requirements Engineering Practices in Very Small Software Enterprises": A . XXIX International Conference of the Chilean Computer Science Society (págs. 81-87). Santiago de Chile: IEEE Computer Society. 2010.
- [15] Talbot, A., & Connor, A.. "Requirements Engineering Current Practice and Capability in Small and Medium Software Development Enterprises in New Zealand". Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (págs. 17-25). New Zealand: IEEE Computer Society 2011.
- [16] Lin, J., & Lin, Y.-S. "Collaborative Requirement Management System Developed for CMMI-Coherent Software Engineering". Proceedings of the 2007 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (págs. 657-662). Taiwan: IEEE. 2007.
- [17] Ashfa, U., & Sarwar Bajwa, I. "Minimizing Ambiguity in Natural Language Software Requirements Specification". Digital Information Management (ICDIM) (pág. Nd). Nd: Digital Information Management (ICDIM). 2011.
- [18] Hickey, A. M., & Davis, A. M. "Elicitation Technique Selection: How Do Experts Do It?" IEEE International Requirements Engineering Conference (págs. 169-178). Colorado: IEEE Computer Society. 2003.
- [19] Sommerville, I. "Ingeniería del software". Madrid (España): Pearson Education, S.A. 2005.
- [20] Arias Chaves, M. "La ingeniería de requerimientos y su importancia en el desarrollo de proyectos de software".  
Revista InterSedes © Universidad de Costa Rica, Nd. 2007.
- [21] Pérez Huebe, M. Monografía: "Ingeniería de requerimientos". Pachuca, Estado de Hidalgo, México. 2005.

- [22] Medina Cardona, L. F. "Caracterización del proceso y herramientas metodológicas de la ingeniería de requerimientos para aplicaciones de sistemas de información geográfica". Revista ingeniería e investigación, 123-131. 2007.
- [23] Manies, M., & Nikual, U. "La elicitación de requisitos en el contexto de un proyecto de software". Revista Facultad de Ingenierías USBMed, 25-29. 2011.
- [24] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. "Metodología de la investigación. México, D.F": Mc Graw Hill. 2008.
- [25] Maté, J. L.. "Requirements Engineering for sociotechnical systems". Nd: Idea Group Inc. 2005
- [26] Robertson, S., & Robertson, J. "Mastering the Requirements Process: Getting Requirements Right". Westford: Pearson Education, Inc 2012.
- [27] Estévez Delgado, J., & Estévez Delgado, G. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo. Disponible: [http://dieumsnh.qfb.umich.mx/estadistica/media\\_pond.htm](http://dieumsnh.qfb.umich.mx/estadistica/media_pond.htm).
- [28] Márquez Zambrano, L. "Material estadística". Disponible: <http://cesarguerra10.files.wordpress.com/2011/04/material-estadc3adstica-i.pdf>. Accedido: Abril de 2011
- [29] Crow, M. "Identificar Stakeholders... ¿Por qué molestarse en esto?:" Disponible en: [http://www.liderdeproyecto.com/articulos/identificar\\_stakeholders\\_por\\_que\\_molestarse\\_en\\_esto.html](http://www.liderdeproyecto.com/articulos/identificar_stakeholders_por_que_molestarse_en_esto.html).

## CREACIÓN DE LIBROS COLABORATIVOS EN EL MARCO DE LA INICIATIVA LATIN

### COLLABORATIVE BOOK CREATION BASED UPON THE LATIN INICIATIVE

**César A. Collazos, PhD.**

*Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia  
ccollazo@unicauca.edu.co*

**Xavier Ochoa, PhD.**

*Escuela Superior Politécnica del Litoral, Espol  
Guayaquil, Ecuador  
xavier@cti.espol.edu.ec*

**Virginia Rodes, MSc.**

*Universidad de la República del Uruguay  
Montevideo, Uruguay  
virginia.rodes@cse.edu.uy*

**Jorge Maturana, PhD.**

*Universidad Austral de Chile  
Puerto Montt, Chile  
jorge.maturana@inf.uach.cl*

(Recibido el 10-03-2014. Aprobado el 30-05-2014)

**Resumen.** La creación de libros de texto es una tarea que involucra la participación de diversos actores. Trabajar colaborativamente es una labor que no es fácil de ejecutar. Se hace necesario definir, planear y estructurar actividades que conlleven una verdadera colaboración entre los integrantes de los grupos de trabajo. En la escritura de libros esta técnica se utiliza con el fin de producir documentos de alta calidad. En el presente trabajo, los autores presentan el modelo seguido para la creación de libros de forma colaborativa enmarcado dentro de la Iniciativa LATIn (Iniciativa Latinoamericana de Creación de Libros de Texto Abiertos).

**Palabras clave:** Escritura colaborativa; LATIn; Piloto de creación.

**Abstract.** Creating text book is now a task that involves different stockholders participation. Working under a collaborative environment is not an easy labour to carry on. It is important to define, make plans and realize structured activities that lead to a treully collaboration among all working team. When writing books, such technique is utilized in order to generate high quality documents. On this paper, the authors are going to show the preferred model employed to créate books under collaborative environment, fremd upon the LATIn initiative (Latin-American Creation of Open Text Books).

**Keywords:** Collaborative Writing; LATIn; Creation Pilot.

## 1. INTRODUCCIÓN

El acceso a los libros en los entornos educativos es una actividad completamente natural por la necesidad de acceder a la información y a los materiales educativos. Esta información y los materiales educativos se pueden encontrar mediante sistemas computacionales con el objetivo de compartir dichos elementos.

Con el propósito de mejorar la accesibilidad a la Universidad Latinoamericana para estudiantes de bajos ingresos y generar contenidos desde y para Latinoamérica, pensando en sus diferentes contextos, culturas e idiomas, surge la Iniciativa LATIn (Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos en el ámbito universitario). Esta propuesta se basa en la colaboración regional para la creación de libros de texto que puedan ser copiados, impresos, modificados y distribuidos entre los estudiantes de forma legal y gratuita, puesto que están amparados en una licencia Creative Commons. Esta iniciativa intenta incentivar a los profesores y autores académicos de diferentes instituciones universitarias en Latinoamérica para que colaboren con colegas de otras instituciones y creen capítulos y libros de texto diseñados exclusivamente para cubrir las necesidades de sus cursos. Estos libros están disponibles de forma gratuita para que los estudiantes los lean, impriman y compartan y para que otros colegas los adapten, traduzcan, distribuyan y mezclen nuevamente [1].

En el marco de esta iniciativa se han diseñado diferentes estrategias con el fin de cumplir los objetivos planteados. Una de ellas fue la convocatoria a la presentación de propuestas para la publicación de Libros de Textos Abiertos Universitarios para América Latina en el marco del que se brinda apoyo económico a los docentes que elaboren los primeros libros de texto abiertos del proyecto.

En este artículo se presentan los resultados más relevantes del proceso de creación de los libros de texto. La siguiente sección describe Iniciativa LATIn de forma más detallada y trabajos relacionados. Posteriormente, se describe el proceso que se llevó a cabo para la escritura de los libros de texto de forma colaborativa. En la sección 4 se presentan los resultados más relevantes y, finalmente, algunas conclusiones y trabajo futuro.

## 2. Descripción de la Iniciativa LATIn

La educación es un derecho fundamental de todas las personas [7], pero se enfrenta a innumerables inconvenientes a los que se debe dar solución oportuna para continuar con la educación. Uno de los inconvenientes radica en los altos costos de los libros de texto, lo que no permite, a muchas personas de ingresos medios y bajos, que se vinculen en las instituciones de educación superior [8].

Una solución parcial son las bibliotecas públicas o privadas de las instituciones educativas o del Estado, las cuales ofrecen una cantidad limitada para cubrir la demanda académica que requieren el uso de este material bibliográfico y, además, se incrementan los costos y las dificultades para estudiar (Deco Claudia, 2012).

El alto costo de los libros se debe, la mayoría de las veces, a que deben ser importados, por lo tanto se incrementa su precio. Por otra parte, los libros producidos localmente tienen como principal inconveniente las dificultades inherentes a la economía del país, lo que se refleja en la dificultad que tienen los estudiantes para adquirir los libros, y los profesores o autores locales para publicarlos o distribuirlos. Una alternativa para mejorar el acceso a los libros de texto ha ido surgiendo en el ámbito de las tecnologías de la información a partir del concepto RAE (Recurso Abierto Educativo) [9].

Si bien los estudiantes latinoamericanos tienen acceso a más de 60 universidades públicas, existe un gasto no siempre visible, que les impide llevar de modo adecuado sus cursos. Se trata de los altos costos de los libros de texto. Un estudio reciente revela que un estudiante de la Universidad de São Paulo, el mayor instituto de enseñanza superior de carácter público de Brasil, tiene un costo promedio anual de 1,900€ en compra de libros de texto. Esto equivale al 67% del salario mínimo brasileño (2.820€ al año). Aun para Argentina, donde el salario mínimo, el mayor de la región, es de 4,092€ por año, el costo de los libros representa en promedio el 46% del ingreso total de la familia. Esta situación empeora en otros países latinoamericanos. Una de las raíces de los altos costos de los libros de texto es que la mayoría de ellos se producen fuera de la región. Problemática que no está relacionada con la falta de capacidad de producción sino con la dificultad que tienen los docentes o autores locales para publicar y distribuir sus libros. En consecuencia, la mayoría de los libros



Figura 1. Iniciativa LATIn.

de texto no están traducidos o adaptados al contexto de la educación superior en Latinoamérica. Esto crea una percepción dañina sobre los estudiantes en el sentido de que concluyen que el conocimiento siempre llega del exterior.

El Proyecto LATIn plantea la creación de una tríada compuesta por metodologías, plataformas y estrategias de creación y adopción de libros abiertos elaborados de manera colaborativa por profesores y demás autores de la región, en portugués y español. Estos libros pueden ser utilizados como literatura básica en cursos de educación superior en los países hispano y luso hablantes. Tradicionalmente, la dificultad en el acceso a los libros se ha intentado remediar a través de la existencia de las bibliotecas universitarias, las que en general no cuentan con el presupuesto necesario para atender la demanda de los estudiantes. No es raro encontrar a una proporción de 50 estudiantes por libro en cursos de alta demanda en Latinoamérica. Esas razones llevan a que los libros físicos se conviertan en recursos de aprendizaje inaccesibles y se da origen a otra problemática como la existencia de copias ilegales, práctica relativamente común entre los estudiantes. Así mismo, LATIn da cuenta de un modelo alternativo de creación de textos para el ámbito universitario, en el que la inversión se dirige a ofrecer incentivos a los docentes en contraposición al pago a editoriales. El uso de licencias libres y abiertas (Creative Commons) permite el uso, impresión, modificación y adaptación y contribuye en la consolidación de la Educación Abierta en la región latinoamericana. La Figura 1 ilustra el proceso de la iniciativa. En este artículo sólo se presenta la etapa de creación de los libros.

## 2.1. Trabajos relacionados

La colaboración, el Trabajo Cooperativo Asistido por Computadores (CSCW) y la escritura colaborativa han tomado fuerza en la actualidad por los beneficios que ofrece, tanto para los educadores como para los estudiantes. Esto ha causado que sean objeto de múltiples investigaciones. Como fruto de esas investigaciones se han efectuado trabajos que se centran en los aspectos metodológicos como la conformación del equipo a cargo para la creación del libro, los diferentes roles en el grupo, cómo se distribuye el trabajo, cómo se gestionan las diferentes versiones, las políticas de creación, etc. De esta manera, se presenta una descripción de los trabajos más relevantes para nuestro propósito.

## 2.2. Open Textbook Proof-of-Concept via Connexions

En [11] se presenta una muestra de que la información devuelta por los estudiantes y profesores explica cada una de las lecciones aprendidas acerca de la producción de libros abiertos. Entre ellos se presentan los desafíos para la producción y adopción de libros abiertos:

- Las expectativas de alta calidad por parte de los miembros de la facultad y los estudiantes sobre la producción de libros abiertos.
- Los métodos para documentar y mantener el control de las diferentes versiones.

- El proceso de conversión de contenido abierto existente a formatos digitales accesibles.
- Los autores identificaron las lecciones aprendidas acerca de la producción de libros abiertos e hicieron hincapié en la importancia de la interactividad, el continuo flujo de trabajo, una guía de estilo y las convenciones de nomenclatura y herramientas estándares de edición.

### 2.3. Free High School Science Texts (FHSST)

Este proyecto hace frente a la enorme escasez de recursos educativos accesibles y asequibles en Suráfrica. La visión de los fundadores era escribir libros de forma colaborativa con las contribuciones de muchos voluntarios. Horner y Blyth indicaron cómo conseguir un equipo central con las directrices orientadas hacia la cohesión del equipo multidisciplinar, cuyas funciones deben ser muy bien definidas. Estos autores destacan la importancia de la comunicación abierta y regular entre los miembros del equipo. Durante la fase principal de creación de contenido principal del proyecto se llevan a cabo semanalmente reuniones entre el equipo. Estas reuniones se llevaron a cabo siempre con un orden del día, e incluso sesiones de retroalimentación y sesiones de lluvia de ideas del equipo [12].

### 2.4. Orange Grove Text Plus

En la iniciativa [13] se presentan soluciones para mejorar el uso y un plan detallado para promover el acceso a los libros abiertos y su uso en La Florida. Este plan aborda seis componentes esenciales, entre ellos tenemos: estrategias para la producción y distribución, la producción de libros abiertos y protocolos de revisión, campaña de sensibilización, adopción y uso, la seguridad del sistema y sostenibilidad.

En particular, los dos primeros componentes están relacionados con metodologías. Los autores encontraron que los factores que intervienen en el desarrollo de materiales abiertos, en orden de prioridad, fueron:

- Tiempo para la revisión, búsqueda y selección de materiales.
- Hardware y software para facilitar el desarrollo.
- Deseo de reducir los gastos estudiantiles.

- La seguridad de que sus materiales son revisados y corregidos por pares.
- Disponibilidad de los criterios de revisión a los autores.
- Apoyo administrativo a los esfuerzos.

### 2.5. Wikilibros en la educación superior

Capacitación distribuida a través de la colaboración en línea. Otra experiencia similar en la que la tecnología wiki se aplicó al desarrollo de un libro universitario de introducción a los sistemas de información, que fue diseñado de manera colaborativa entre profesores y estudiantes. El resultado global fue un libro de texto dinámico, a disposición en línea de todos los estudiantes en todas las universidades y de forma gratuita. Además de contribuir con el desarrollo del libro, es una experiencia enriquecedora de aprendizaje para los estudiantes, así como una contribución para las instituciones académicas, disciplinas y educadores. Después de un periodo de dos años de esta actividad, Wikitextbook acumuló 225 subcapítulos, co-escritos por estudiantes de pregrado y posgrado en más de 20 salones de clase en tres universidades israelitas [14].

### 2.6. Plataformas tecnológicas

Por el alto potencial y uso de las nuevas licencias y tecnologías para la producción de libros de texto abiertos, hay iniciativas que sugieren herramientas que permiten incluir las diferentes propuestas metodológicas para que los autores produzcan tales libros. Entre estas herramientas podemos considerar aquellas que han facilitado el desarrollo e incorporación de las nuevas tecnologías para la creación de los libros de texto.

#### 2.6.1. Wikibooks

Wikibooks (<http://www.wikibooks.com>) es un proyecto hermano de Wikipedia y parte de la Fundación Wikimedia. El proyecto es una plataforma para el desarrollo de libros de texto, manuales y otros textos pedagógicos, de contenido libre, que se escriben y editan colaborativamente, con el uso de la misma interface que tiene la plataforma Wikipedia. Esta plataforma trabaja con la tecnología wiki, lo que significa que cada usuario puede colaborar en la escritura de cualquier libro.

La plataforma tiene limitaciones para atribuir autoría y controlar la calidad de los textos, pero se constituye en una herramienta valiosa para una generación constructivista. Los Wikilibros son publicados con una licencia libre GNU Free Documentation License (GDFL), lo que permite asegurar a todo el mundo la libertad efectiva de copiarlo y redistribuirlo, con o sin modificaciones, de forma comercial o no [15].

### 2.6.2. *Connexions*

Connexions ([www.cnx.org](http://www.cnx.org)) es un repositorio de acceso abierto de materiales académicos y un conjunto de herramientas de software de código abierto para ayudar a publicar, colaborar, construir y compartir cursos para los clientes y estudiantes y explora los vínculos entre los conceptos, cursos y disciplinas [16]. El diseño de Connexions se basa en conceptos compartidos por una amplia gama de académicos, como:

- El conocimiento debe ser libre y abierto para el uso y la reutilización.
- La colaboración debe ser más fácil, no más difícil.
- Las personas deben obtener crédito y felicitación por su contribución con la investigación y la educación.
- Los conceptos e ideas se vinculan de manera inusual y sorprendente, y no las formas simples que los libros presentan.

En este sentido, Connexions es un experimento en curso a gran escala, en el que los autores pueden crear "módulos" de información destinados a comunicar un concepto, un procedimiento, una serie de preguntas acerca de algo. Un grupo de módulos pueden ser insertados por un autor o un instructor para crear un curso o tejer un plan de estudio completo.

En Connexions los autores conservan los derechos de autor de sus materiales, pero los hacen disponibles libremente con una licencia de contenido libre Creative Commons. Esta licencia comparte el espíritu de las licencias de código abierto como la Licencia Pública General (GPL) y la licencia Berkeley Software Distribution (BSD), pero está diseñado expresamente para el contenido. La licencia permite que

cualquiera pueda copiar, modificar y redistribuir los módulos de Connexions y cursos, siempre que se atribuyan los derechos al autor original [17].

### 2.6.3. *Flat World Knowledge (FWK)*

FWK (<http://catalog.flatworldknowledge.com>) presenta una alternativa de negocio para la producción de libros abiertos. Esta plataforma permite hacer más fácil el trabajo al profesor porque el libro se genera en su forma completa para tener un control editorial. FWK provee versiones electrónicas completamente libres y la ganancia la obtienen de la impresión a demanda de versiones de los libros a un precio razonable. FWK pone a disposición los libros terminados con una licencia Creative Commons e intercambio no comercial [18].

FWK utiliza la adquisición tradicional de autores, la revisión de pares y procesos creativos, pero ofrece cada libro que publica de forma gratuita con distribución en línea, desde el paradigma de contenido abierto. También cuenta con suplementos de enseñanza para el educador y material compatible con las normas de la industria que también están disponibles sin costo alguno.

### 2.6.4. *Global Text Project*

Este proyecto fue desarrollado por las universidades de Georgia y Denver con el propósito de proveer 1000 libros abiertos a los estudiantes de países en vías de desarrollo, pero pueden ser accedidos a través de internet.

Global Text Project (<http://globaltext.terry.uga.edu/>) ofrece un servicio gratuito de libros de texto que abarca todos los temas que se encuentran comúnmente en los primeros años de pregrado de la universidad. El material es aportado por voluntarios no remunerados, a pesar de que se está considerando la posibilidad de establecer salarios para fomentar la presentación de material. El proyecto está supervisado por los profesores de las universidades de los ámbitos pertinentes para garantizar la calidad de la información. Muchos expertos se unen para contribuir a la creación de contenido y producir un libro de texto completo. Los estudiantes también participan en la creación de contenidos, así como la corrección de textos, elaboración de esquemas y tareas relacionadas con el software.



Todos los libros en este proyecto se lanzaron con la licencia Creative Commons Attribution 3.0. Esta licencia permite la distribución de textos en variedad de formatos [19].

#### 2.6.5. *Pressbook*

Pressbook (<http://pressbooks.com>) es una herramienta para la edición de libros, que funciona en el entorno de WordPress (<http://es.wordpress.com>) que facilita las tareas de creación de ebooks en diferentes formatos. Esta plataforma de publicación es de código abierto y su principal objetivo es permitir la publicación para reducir costos, papel, tiempo y la complejidad de editar libros electrónicos. Pressbook es un software construido como un plugin para usar en una instalación multisitio WordPress y cada sitio será un nuevo libro. Estas características facilitan que cada usuario tenga su propia instancia de Pressbook o su propio servidor con sus respectivos libros [20].

#### 2.6.6. *Ourscrapbook*

El libro virtual OurScrapBook (<http://sourceforge.net/projects/ourscrapbook/>) aloja contenidos virtuales para leer o escribir y su funcionalidad es similar a la de cualquier libro convencional. Esta plataforma tiene la característica de que cualquier persona puede escribir en el libro y editar artículos sin necesidad de estar registrado. La potencia de esta herramienta consiste en que cualquier contenido será editado siempre que el administrador admita su publicación. Se trata de una herramienta de comunicación, muy sencilla de usar en la que todos pueden participar con sus aportes, publicar sus creaciones en la red y convertirlas en fuente de información adecuada para todos. Por lo tanto, OurScrapBook es un recurso educativo que ayuda a fomentar la lectura, la escritura y la búsqueda de la información. Esta aplicación está desarrollada en software libre para organizar actividades y aportes libres y voluntarios de los estudiantes [21].

#### 2.6.7. *Bonzoi*

Bonzoi ([www.bonzoi.com](http://www.bonzoi.com)) es una plataforma en la que se puede leer y escribir los temas de interés de cada persona. La plataforma Bonzoi admite el trabajo de múltiples autores, conectarse, crear y colaborar en tiempo real desde cualquier lugar del mundo.

Bonzoi es una comunidad para lectores, escritores, fotógrafos y editores en la que se puede publicar contenido de forma gratuita.

La plataforma Bonzoi ayuda a publicar libros en formatos electrónicos e interactivos (eBooks) y brinda accesibilidad a los diferentes lectores de todo el mundo a través de un móvil, computador o tablet. Por lo tanto, Bonzoi se constituye en una plataforma de colaboración de varios autores para promover la alfabetización mundial mediante la simplificación de la escritura [22].

#### 2.6.8. *Booktype*

Booktype (<http://www.sourcefabric.org/en/booktype/>) es una plataforma para la creación de libros electrónicos, en diferentes formatos, páginas web y mucho más. Esta plataforma es un software basado en la web, lo que facilita el acceso desde cualquier lugar del mundo.

Esta herramienta software es compatible con cualquier tipo de personas o grupo que desea escribir un libro, pero se requiere un navegador para acceder al sitio web. Booktype está diseñado para producir libros, ya sea por sí mismo o con los demás, además de ser un entorno social en el que se discuten los puntos de vista acerca de los libros que producen y busca la ayuda de los demás o los proyectos que contribuyan a su propio proyecto.

La plataforma se puede usar para apoyar los procesos tradicionales de creación de libros; Booktype apoya el rápido desarrollo de los contenidos en eventos intensivos de colaboración, con la formación de grupos y se centra en la escritura de un libro en tres o cinco días, además, fue desarrollado para facilitar los modelos de producción acelerados, por lo tanto, el conjunto de características coincide con el rápido ritmo de publicación posible en la era moderna de la impresión por demanda.

Una ventaja que tiene el uso de esta herramienta es que está diseñado en código abierto, lo que permite ser descargado libremente, usarse y personalizarse de acuerdo con gustos e intereses particulares para producir hermosos libros y atractivos formatos para impresión [23].

### 3. PROCEDIMIENTO PARA LA CREACIÓN DE LIBROS DE TEXTO DE FORMA COLABORATIVA

No es simple el proceso de escritura. Es responsabilidad del autor definir el tema, llevar a cabo investigaciones sobre el mismo, organizar las ideas y puntos de vista que se manejan, decidir cómo estructurar el texto, entre otras medidas. Cuando se realiza esta actividad de forma colaborativa se hace aún más complejo por cuanto es necesario considerar las dificultades comunes a cualquier proceso que implica la colaboración y los pasos de creación de un texto.

Cuando existe un grupo de personas dedicado a esta tarea, aparece el reto de escribir un texto de alta calidad, con diferentes estilos de escritura, ideas, vocabulario e, incluso, cultura. Es importante que los objetivos del texto estén bien definidos y haya un nivel de compromiso con la tarea, identificar las funciones entre los miembros del grupo, una división de tareas, discusiones sobre el contenido y el correcto crédito a los autores [10].

De esta manera la escritura colaborativa es una actividad multitarea que involucra distintos momentos o procesos que pueden darse de manera recursiva e intercalada: un proceso de lluvia de ideas y otro de búsqueda de consensos. Estos procesos le otorgan su rasgo definitorio a este tipo de escritura: la escritura colaborativa depende de la comunicación que sella la importancia de brindar los servicios más adecuados para que puedan encontrarse diferentes estilos de comunicación.

Poner a un equipo de personas en torno a una tarea común, no garantiza una verdadera colaboración [7]. Por tal razón, se requiere estructurar una actividad en la que se participe de manera activa.

El proceso que se ha definido en la Iniciativa LATIn incluye una serie de fases para elaborar los libros de texto abiertos. Se describen a continuación dichas fases:

1. Creación de la comunidad: En esta parte las personas ingresan a una plataforma social (<http://comunidad.proyectolatin.org/>), con el objetivo de interactuar sobre diversas temáticas, armar comunidades y generar grupos de escritura para elaborar los libros de texto abiertos.

2. Formulación de una propuesta de libro: Cuando se define la temática se presenta una propuesta de trabajo. El documento incluye: (a) Título del libro; (b) Participantes (identificación de la persona responsable del libro); (c) Curriculum vitae de los proponentes; (d) Disciplina/Especialidad en la que el libro estará inmerso; (e) Resumen del libro; (f) Temáticas; (g) Contribución del libro propuesto; (h) Impacto esperado; (i): Propuesta de trabajo colaborativo.
3. Proceso de escritura: En esta fase se hace uso de una plataforma de escritura para que los participantes puedan elaborar sus libros de texto (<http://escritura.proyectolatin.org/>).
4. Revisión de los libros: Se hace una revisión de la calidad y pertinencia de los libros presentados y se definen cuáles podrán ser utilizados en las aulas de clase.
5. Piloto de uso: En esta fase se usan los libros de texto producidos en diversas instituciones universitarias.
6. Evaluación de la experiencia: Finalmente, se hace una evaluación por parte de los docentes y estudiantes sobre la calidad de los libros utilizados.

Se ha diseñado una metodología que guíe el proceso de creación colaborativa de contenidos en la que profesores y autores están involucrados. Los principales objetivos son garantizar la calidad de los materiales, facilitar la colaboración y promover la reutilización de componentes.

En este sentido, se determina el modo de colaboración en la autoría de libros, las herramientas y el tipo de licencia para los autores que reutilicen el material y lo modifiquen con una versión distinta. Se establece la forma en la que estos libros pueden ser personalizados y la selección de módulos, compaginado y reeditado de sus partes, considera las características culturales de los diferentes países involucrados, y en particular, cómo se realizarán las traducciones y adaptaciones. Se propuso un marco metodológico para establecer distintas metodologías que soporten el trabajo colaborativo de diversos grupos de trabajo, y se plantea una guía principal para un ecosistema digital para la producción colaborativa de libros abiertos, se presentan seis dimensiones para coordinar distintos aspectos del trabajo: procesos, roles, sincronización, control, granularidad y grupos de escritura.

De igual forma se diseñó e implementó una plataforma tecnológica basada en web que brinde las funciones necesarias para soportar la metodología adoptada para la creación colaborativa de libros. También debe proporcionar herramientas para compaginar módulos de libros para su uso en un curso específico, para la lectura de libros en línea o para la descarga en formato PDF. Además, la plataforma permite la creación de nuevas versiones, adaptaciones o traducciones a otros idiomas, así como herramientas para la edición de nuevos módulos. Como primera etapa se realizó un análisis del estado del arte de plataformas existentes, para su posible adopción y adaptación a los objetivos planteados. Se analizaron, entre otros aspectos, si son plataformas abiertas, si permiten la colaboración y la modularización de contenidos y cómo tratan el control de calidad y la autoría. Como resultados de este eje de trabajo se concretó el desarrollo de una plataforma social (<http://comunidad.proyectolatin.org/>), una plataforma de escritura (<http://escritura.proyectolatin.org/>) y una plataforma de publicación.

Finalmente, se definieron las estrategias para la implementación y adopción de esta Iniciativa. En este sentido, resultó necesario establecer las orientaciones políticas y legales para el funcionamiento de la Iniciativa, así como plantear el tipo de licencias abiertas que mejor se ajustaran a las leyes de los diferentes países y la propiedad intelectual de los libros de texto. Por otro lado, se hizo indispensable el reconocimiento del estado de generación y utilización de los libros de texto en la región. La investigación de esta situación se planteó por dos vías complementarias: la recuperación de información estadística del contexto y el estudio de las percepciones y actitudes de los actores (estudiantes y profesores) del proceso educativo. Esto se realizó mediante encuestas en forma de una consulta electrónica abierta con una herramienta en la web ([www.limesurvey.org/](http://www.limesurvey.org/)) y con el fomento de la participación masiva de estudiantes y docentes de las universidades involucradas en LATIn. El análisis de los resultados ayudó a determinar las mejores estrategias. Además, se definió una estrategia de adopción para la iniciativa organizada con base en tres procesos fundamentales (difusión, promoción y formación) y definida temporalmente en tres fases (inicio, generalización, institucionalización).

Las fases 2 y 3 se han denominado “Piloto de creación”, en las que los profesores presentan sus propuestas y evalúan cómo ha sido el proceso para la escritura del libro. En la siguiente sección se presentan los resultados de dicha evaluación.

#### 4. EVALUACIÓN DEL PILOTO DE CREACIÓN

Se aplicó una encuesta a los participantes para determinar las apreciaciones sobre el trabajo elaborado. En dicha encuesta participaron profesores de las diferentes instituciones universitarias participantes en el proyecto (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador (Espol); Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA); Universidad Católica de San Pablo, Perú (UCSP); Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil (UPM); Universidad de la República, Uruguay (Udelar); Universidad Nacional de Rosario, Argentina (UR); Universidad Central de Venezuela, Venezuela (UCV); Universidad Austral de Chile, Chile (UACH); Universidad del Cauca, Colombia (Unicauca); Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica (KUL); Universidad de Alcalá, España (UAH) y Université Paul Sabatier, Francia (UPS).

En dicha encuesta se incluyeron los siguientes aspectos:

1. Evaluación personal: Se solicita calificar de 0 a 10 (donde 0 es la nota más baja y 10 la más alta) la participación dentro del proyecto. De igual forma, poner qué porcentaje del libro total puede considerarse de autoría del evaluador. Finalmente, se debe explicar la contribución al texto elaborado.
2. Evaluación de la coordinación: Se debe calificar de 0 a 10 el trabajo del coordinador del libro y detallar la labor que dicho coordinador cumplió.
3. Organización del grupo: Se solicita informar cómo se organizó el grupo para realizar el trabajo y mencionar qué herramientas usaron para comunicarse y cómo fue la toma de decisiones.
4. Estrategia de escritura: Se debe informar cómo funcionó el proceso de escritura y cómo fueron repartidas las responsabilidades y se aseguró que cada miembro cumpliera con su parte.

5. Problemas: Indicar cuáles fueron los problemas encontrados y las soluciones halladas para los mismos.
6. Calidad del libro: Evaluar la calidad del libro con la mención de las características que podrían/deberían ser mejoradas en una nueva versión.
7. Evaluación del proyecto: Evaluar el soporte recibido por el grupo del Proyecto LATIn.
8. Uso del libro: Describir la forma en la que se usará el libro con los estudiantes.
9. Comentarios generales.

Esta evaluación fue realizada por todos y cada uno de los autores de los libros de las diferentes instituciones participantes. Se describen a continuación los resultados más relevantes:

- Respecto a la evaluación personal, la mayor cantidad de los encuestados manifestó haber trabajado de forma adecuada con una nota alta (mayor a 8). De igual forma, manifiestan haber hecho contribuciones importantes en los libros de texto.
- Sobre el tema de evaluación de la coordinación, en su gran mayoría, expresan que el trabajo llevado a cabo por el coordinador ha sido bueno y se destaca la disposición para la colaboración.
- En la parte de organización del grupo, se destaca la consolidación a través de la plataforma social de la iniciativa, la cual dejó conocer a un grupo de personas que difícilmente habría podido establecer algún vínculo.
- En la estrategia de escritura, la mayoría de los encuestados manifestó que si bien había una plataforma para escritura que se brindó por parte de la iniciativa LATIn, no fue utilizada. Se usó Google Drive como mecanismo de comunicación. Las responsabilidades fueron distribuidas por los temas que cada uno manejaba mejor y se compartieron los fragmentos de contenido y se revisaban.
- Los problemas que más aducen los participantes estuvieron en la plataforma de escritura, la cual, desafortunadamente, no se construyó a

tiempo con las funcionalidades con las que actualmente cuenta y que hizo que se optara por plataformas diferentes de escritura.

- La calidad del libro fue valorada de forma positiva.
- En la evaluación del grupo de LATIn, los comentarios fueron muy positivos y se manifestó el respaldo por el equipo coordinador de LATIn. Comentarios del estilo: “El proyecto nos ha dado lo más importante que es la conexión entre las personas. Creo que la red social dio su aporte en eso”.
- Finalmente, en los comentarios recibidos hay apreciaciones positivas de la iniciativa y agradecimientos por la oportunidad de participación esta propuesta. Algunos de los comentarios son: “Sólo tengo para decir que agradezco la valiosa ayuda del proyecto LATIn, en tanto permitió la realización de un libro pero, además, generó una dinámica poco común entre integrantes de diferentes universidades en Latinoamérica, lo cual no solo posibilitó la concreción del libro sino acercarnos y tejer relaciones de tipo académico que aportan de manera significativa dentro de las universidades con el proceso de investigación y de enseñanza – aprendizaje.”

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La producción de libros de texto, aunque sea de manera colaborativa, es considerada como un proceso con un principio y un final claro. El único producto de esta actividad es el libro de texto final en una forma indivisible, que se basa principalmente en prácticas históricas de derechos de autor y herramientas de escritura disponibles.

Esta experiencia constituye un antecedente relevante e innovador de modelos de creación colaborativa de recursos educativos abiertos. El Proyecto LATIn plantea la creación de una tríada compuesta por metodologías, plataformas y estrategias de creación y adopción de libros abiertos elaborados de manera colaborativa por profesores y demás autores de la región, en portugués y español. Estos libros pueden ser utilizados como literatura básica en cursos de educación superior en los países hispano y luso hablantes (416 millones y 280 millones de hablantes en

el mundo, respectivamente). Esta iniciativa constituye un aporte a la mejora del acceso y permanencia en la educación superior en Latinoamérica. Se sabe que el costo de ser estudiante universitario constituye la barrera más significativa para el acceso y permanencia de los estudiantes en estas instituciones de América Latina (IES). Entre el monto total que un estudiante debe pagar está el costo de los libros didácticos que, en el caso de la educación superior en Latinoamérica, se torna excesivo para la mayoría de los estudiantes. Tradicionalmente, la dificultad en el acceso a los libros se ha intentado remediar a través de la existencia de las bibliotecas universitarias, las que en general no cuentan con el presupuesto necesario para atender la demanda de los estudiantes. No es raro encontrar a una proporción de 50 estudiantes por libro en cursos de alta demanda en Latinoamérica. Esas razones llevan a que los libros físicos se conviertan en recursos de aprendizaje inaccesibles para los estudiantes, lo que conduce a la existencia de copias ilegales, práctica relativamente común entre los estudiantes.

Así mismo, LATIn da cuenta de un modelo alternativo de creación de textos para el ámbito universitario, en el que la inversión se dirige a ofrecer incentivos a los docentes en contraposición al pago a editoriales. El uso de licencias libres y abiertas (Creative Commons) permite la reutilización, impresión, modificación y adaptación y contribuye a la consolidación de la Educación Abierta en la región latinoamericana.

## REFERENCIAS

- [1] Xavier Ochoa, Ismar Frango Silveira, and Antonio Silva Sprock, "Collaborative Open Textbooks for Latin America – the LATIn Project," in International Conference on Information Society (i-Society), London, 2011, p. 6.
- [2] Constitución Política de Colombia, 1991. Consulta en línea: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/cp/constitucion\\_politica\\_1991\\_pr002.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/cp/constitucion_politica_1991_pr002.html)
- [3] Casali Ana, Bender Cristina, Kantor Raul, Motz Regina Deco Claudia, "Iniciativa LATIn para la creación de Libros Abiertos en América Latina," 10° Simposio sobre la sociedad de la información, La Plata (Argentina), 2012, p. 11.
- [4] Wiley, Hilton, Levi. A digital ecosystem for the collaborative production of open textbookthe LATIn Methodology, International Review of Research in Open and Distance Learning, Vol.10 (5), 2009.
- [5] Matkin, Frydemberg, "Open Textbooks: Why? What? How? When?," University of California, Irvine, CA (EEUU), 2007. Consulta en línea: <http://www.hewlett.org/library/grantee-publication/open-textbooks-why-what-how-when>
- [6] C. Collazos, L.A. Guerrero, J.Pino., S.Renzi, J.Klobas, M.Ortega, M.A.Redondo,C.Bravo. Evaluating Collaborative Learning Processes using System-based Measurement. Journal of Educational Technology & Society, Vol.10, No.3, April 2007, pp. 257-274
- [7] Rodríguez-Céspedes, Ariel "La educación después de la Constitución del 91. De la reforma a la contrarreforma" Editorial Magisterio, Bogotá, Colombia, 2002, 285p, ISBN: 9789582006709.
- [8] C. Deco, A, Casali, et al. "Iniciativa LATIn para la Creación de Libros Abiertos en América Latina". 10 Simposio sobre la Sociedad de la Información (2012) 41: p. 11, La Plata (Argentina), 2012
- [9] L. Hilton, D. Wiley, "A sustainable future for open textbooks? The Flat World Knowledge story". First Monday (2010) 15: p. 6. Consulta en línea: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/2800/2578>
- [10] A. Barile, F. Durso, "Computer-mediated communication in collaborative writing", Computers in Human Behavior 18(2), pp 173-190, 2001.
- [11] J. Baker, J. Thierstein et al. "Open Textbook Proof-of-Concept via Connexions". The International of Research in Open and Distance Learning 10(7), 2009. Consulta en línea: <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/633/1387>
- [12] M. Horner, S. Blyth. "How to collaboratively develop open source textbooks". Free High School Text, N° 15, 2008. Consulta en línea: [http://download-mirror.savannah.gnu.org/releases/fhsst/FHSST\\_HowTo.pdf](http://download-mirror.savannah.gnu.org/releases/fhsst/FHSST_HowTo.pdf)

- [13] R. Donaldson, D. Nelson. "The 2012 Promise of Open Access Textbooks: A Model for Success". FIPSE, N° 84, 2011. Consulta en línea: <http://www.openaccesstextbooks.org/pdf/ModelDraft.pdf>
- [14] G. Ravid, Y. Kalman, et al. "Wikibooks in higher education: Empowerment through online distributed collaboration". Computer in Human Behavior, N° 24, pp. 1913-1928, 2008.
- [15] Wikilibros, 2014. Consulta en línea: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikilibros>
- [16] R. Baraniuk. "Connexions: Building Communities and Sharing Knowledge". IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing N°14, 2002
- [17] U. Dholakia, W. King et al. "What Makes an Open Education Program Sustainable? The Case of Connexions". (2006) : p. 25
- [18] J.L. Hilton & D. Wiley. "A sustainable future for open textbooks? The Flat World Knowledge story". First Monday N°15, 2006. Consulta en línea: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/2800/2578>
- [19] Texto Global, 2014. Consulta en línea: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Text](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Text)
- [20] Pressbook, 2014. Consulta en línea: <http://pressbooks.com/>
- [21] WikiCGA. Instructivo y descripción sobre el Libro virtual OurScrapBook, 2014. Consulta en línea: [http://www.juntadeandalucia.es/educacion/cga/mediawiki/index.php/Libro\\_virtual\\_OurScrapBook](http://www.juntadeandalucia.es/educacion/cga/mediawiki/index.php/Libro_virtual_OurScrapBook)
- [22] Plataforma Bonzoi, 2014. Consulta en línea: <http://www.bonzoi.com/about.aspx>.
- [23] Booktype para Autores y Editores, 2014. Consulta en línea: <http://en.flossmanuals.net/booktypes/index/>.

## GUÍA PARA AUTORES

### Tipología de artículos para la revista

Cada uno de los artículos de la revista es evaluado por pares académicos con reconocida experiencia en el área a la cual pertenece el artículo enviado para su consideración en publicación. Los autores pueden presentar para publicación las siguientes tipologías, definidas por los organismos de indexación de las revistas científicas para reconocer la calidad de la publicación.

La revista otorga prelación para la publicación de artículos de tipo 1, 2 y 3.

1. Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y es.
2. Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. Artículo de revisión. Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de

investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Otro tipo de artículos pueden ser considerados para publicación en la revista, dependiendo de su originalidad y aporte al conocimiento, según lo considere el comité científico, el comité editorial y el comité de árbitros de cada número. Entre ellos se cuentan:

4. Artículo corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
5. Reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.
6. Revisión de tema. Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.



7. Cartas al editor. Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista que, a juicio del Comité Editorial, constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.
8. Editorial. Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado, sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

### **Envío de manuscritos**

Los aspectos de forma deben seguir las normas básicas que la revista establece a la hora de redactar el informe o trabajo, en aspectos esenciales como los titulares, el tamaño de los párrafos, las citas bibliográficas, las nomenclaturas, la proporción de tablas y figuras, la presentación de los resultados o las citas bibliográficas. En este caso también se recomienda a los autores que se ajusten a la normativa. Es necesario poner especial cuidado en la organización y la estructura del trabajo, el estilo de redacción, la presentación de los resultados en tablas y figuras, y en la correspondencia entre las referencias citadas y las enumeradas al final del trabajo. Además, conviene no olvidar el ajuste del lenguaje a un entorno internacional, propio de la comunidad científica y profesional, más allá de los modismos propios del país o del área en la que se produzca el artículo.

Los autores deberán remitir los manuscritos de los artículos a través de la plataforma de la revista, a la cual se accede a través de <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, siguiendo las instrucciones que se indican en la plantilla oficial de la revista, consistente en los siguientes requerimientos mínimos:

#### Utilizar plantilla oficial de la revista.

Los manuscritos pueden ser escritos en español o inglés, cuartillas tamaño carta (21.59 cm × 27.94 cm) y márgenes de 2 cm en cada lado.

#### Máxima extensión del artículo.

7.000 palabras.

#### Formato de párrafos

Letra Arial, tamaño 10, espacio doble en columna sencilla.

#### Resumen.

Entre 150 y 250 palabras, en español e inglés. Incluir 3 a 5 palabras clave en orden alfabético, con su equivalencia en inglés.

#### Numeración de títulos y encabezados.

En listas multiniveles con números arábigos hasta el subnivel 3.

#### Cuerpo del manuscrito.

Incluir introducción, metodología y desarrollo evidenciando el aporte al área de ingeniería, es y trabajos futuros.

#### Citaciones y referencias.

Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las referencias bibliográficas; en consecuencia, no deben existir referencias bibliográficas aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito.

### **Proceso de evaluación y arbitraje**

Los artículos para la revista *Lámpsakos* se someten a consideración del Comité de árbitros para cada edición. Al momento de enviar su manuscrito, la revista puede solicitarle sugerencias para la conformación del mencionado comité de evaluación, con la condición de que el proceso de dictamen para cada edición exige anonimato.

En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité editorial, quienes determinarán la pertinencia de la publicación.

Una vez establecido que el artículo cumple con los requisitos temáticos, además de los requisitos formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos, quienes determinarán en forma anónima: a) publicar sin cambios, b) publicar cuando se hayan cumplido correcciones menores, c) publicar una vez que se haya efectuado una revisión a fondo y d) rechazar. En caso de discrepancia entre ambos resultados, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación.

El proceso de dictamen se efectúa por pares académicos especialistas bajo la modalidad doble ciego. Cada par académico revisará la calidad, originalidad, relevancia y valor práctico del trabajo.

La notificación de aceptación o rechazo del artículo se realizará vía e-mail. El informe será emitido a los autores durante el mes siguiente al envío del manuscrito. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

En general, los aspectos de fondo más valorados serán la coherencia y la relevancia de la colaboración para el avance del conocimiento académico y profesional de la ciencia. Es necesario tener presente que cada tipología de trabajo tiene su propia estructura textual y conceptual, en función del aporte y de los posibles lectores.

### **Derechos de autor**

La revista *Lámpsakos* requiere a los autores que concedan la propiedad de sus derechos de autor, para que su artículo y materiales sean reproducidos, publicados, editados, fijados y comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro. Cada artículo se acompaña de una *declaración de originalidad* en la que se especifique que no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones antes de conocer la decisión del comité editorial.

### **Originalidad y divulgación de artículos**

Los trabajos publicados en la revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento y podrá ser reproducida por cualquier medio, haciendo mención de la fuente. El autor o autores autorizan a la revista y a la Institución para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico

El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía. Los artículos son producto de un proceso de investigación de los autores y han sido valorados previamente por colegas expertos antes de ser presentados a publicación.

Las opiniones y afirmaciones que aparecen en la publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores y no comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la FUNLAM, la Facultad de Ingenierías o la revista *Lámpsakos*.

### **Typology of articles for the journal**

Each of the papers in the journal is evaluated by academic peers with recognized experience in the area on which the article belongs. Authors may submit their manuscripts for publication, according to the fo

## GUIDE FOR AUTHORS

### Typology of articles for the journal

Each of the papers in the journal is evaluated by academic peers with recognized experience in the area on which the article belongs. Authors may submit their manuscripts for publication, according to the following typologies, defined by indexing agencies of scientific magazines that recognize the quality of the publications. (Publindex, Colciencias - Colombia)

The magazine gives priority to the publication of articles of type 1, 2 and 3.

1. Article of scientific and technological research. Document that presents, in detail, the original results of completed research projects. The structure generally contains four important parts: introduction, methodology, results and s.
2. Article of reflection. Document that presents finished research results from an analytical, interpretative or critical, on a specific topic, using original sources.
3. Review article. Document resulting from a completed investigation, which analyze, systematize and integrate the results of research published or unpublished, in a field of science or technology, in order of accounting for the progress and development trends. It is characterized by a careful literature review of at least 50 references.

Another kind of articles can be considered for publication in the magazine, depending on their originality and contribution knowledge according to the scientific committee and the editorial board of referees committee of each number. Among them are:

4. Short article. Brief document that presents original results preliminary or partial of a scientific or technological research, which usually requires a quick diffusion.
5. Case report. Document that presents the results of a study on a particular situation in order to make known the technical and methodological experiences considered in a specific case. Includes commented systematic review of the literature on analogous cases.
6. Topic Review. Document resulting from a critical review of the literature on a particular topic.
7. Letters to the Editor. Critical positions, analytical or interpretative on documents published in the magazine, which in the opinion of the Editorial Committee are an important contribution to the discussion of the topic by the scientific community of reference.
8. Editorial. Document written by the editor, editorial committee member or a guest researcher on guidelines in the thematic domain of the magazine.

## Requirements of manuscripts

The aspects of form must follow the basic rules that the journal has established for authors when writing their manuscripts, in essential aspects as the titles, the size of paragraphs, quotations, nomenclatures, the presentation of results, the proportion of tables and figures. Authors should also conform to the rules of quotation of references. Special care is required in the organization and structure of the manuscript, as well as the writing style, the presentation of the results in tables and figures, and the correspondence between the references cited and listed at the end of work. Moreover, authors must not forget about the language settings according to the international environment, typical of scientific and professional community.

Authors should refer their manuscripts of articles through the journal's platform, which may be accessed on the address <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, following the instructions in the official template magazine, consisting of the following minimum requirements:

### Use official magazine template

Manuscripts may be written in Spanish or English language, letter or A4 sized pages (21.59 cm x 27.94 cm) and 2 cm margins on each side.

### Maximum length of the article

7000 words.

### Paragraphs formatting

Arial letter, size 10, double-spaced in single column.

### Abstract

Between 150 and 250 words in both Spanish and English languages. Include 3-5 keywords in alphabetical order, with their equivalent in Spanish.

### Numbering of titles and headers

In multilevel lists with Arabic numerals to the sub-level 3.

### Body of manuscript

It includes Introduction, Development Methodology and evidencing the contribution to engineering, s and future work.

## Citations and bibliographic references

Numbering according to IEEE format. All citations in the manuscript must be listed in the references. There should not be isolated references that are cited in the body of the manuscript.

## **Evaluation process and arbitration**

The articles for the Journal "Lámpsakos" are subjected to consideration of the Committee of referees for each edition. When authors send their manuscript, the journal may solicit suggestions for the creation of that evaluation committee, based upon the fact that in the dictamination process for each edition requires anonymity.

First, the received articles will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee members, who will determine the relevance of the publication.

Once established the Article complies with the thematic requirements in addition to the formal requirements indicated in these instructions, it will be sent out to external academic peers who determine on an anonymous basis: a) publish without changes, b) publish corrections they have complied with minor corrections, c) publish once having made a thorough review, d) reject. In case of discrepancy between the two results, the text will be sent to a third referee, whose decision will define its publication.

Dictamination process is carried out by academic peers specialists under double-blind mode. Each pair will review academic quality, originality, significance and practical value of the work.

Notification of acceptance or rejection of the article will be via e-mail. The report will be emitted into the authors during the month following the submission of the manuscript. The results of the academic opinion will be final in all cases.

In general, most valued aspects of background will be the consistency and relevance of collaboration in advancing academic and professional knowledge of science. It is necessary to remember that each type of job has its own textual and conceptual structure, depending on the amount and potential readers.

**Copyright**

The journal *Lámpsakos* requires granting authors ownership of their copyrights, for their item and materials to be reproduced, published, edited, set and reported and publicly transmitted in any form means, and their distribution in the number of copies required, and public communication, in each of its forms including the making available to the public through electronic, optical or other purpose any technology exclusively scientific, cultural, media and nonprofit. It has the letter of assignment of rights to do so.

**Originality letter**

The works published in the magazine, without exception, are welcomed to the rules of Copyleft and Creative Commons, and that the publication is freely distributable for knowledge, and may be reproduced by any means making mention of the source. The author

or authors authorize the magazine and the Institution to edit and disseminate/publish the article by any national and/or international, print or electronic.

Each article is accompanied by a statement of originality in specifying that has not been published and not simultaneously submitted to other publications before knowing the decision editorial committee.

The author or authors accept the editorial policies and guidelines of the guide. Their articles are the result of a research of the authors and has been previously assessed by expert colleagues before acceptance for publication.

The opinions and affirmations accepted for publication reflect exclusively the points of view of their authors and do not necessarily compromise the policies and thinking of either Fundación Universitaria Luis Amigó, the Faculty of Engineering or the journal *Lámpsakos*.